THE GETTY CENTER LIBRARY

Journal

für

die Baukunst.

In zwanglosen Heften.

Herausgegeben

von

Dr. A. L. Crelle,

Königlich-Preufsischem Geheimen-Ober-Baurathe a. D., Ritter des rothen Adler Ordens dritter Classe mit der Schleife, Mitgliede der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Correspondenten der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg und der Königlichen Akademieen der Wissenschaften zu Neapel und Brüssel, auswärtigem Mitgliede der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Stockholm, Ehrenmitgliede der Hamburger Gesellschaft zur Verbreitung der mathematischen Wissenschaften.

Neun und zwanzigster Band.

In vier Heften.

Mit dreizehn Figurentafeln.

ING. AKAD. BIBLIOTHEK

7598

K.K. TECHNISCHE MILITAIR ACADEMIE BIBLIOTHEK

Berlin.

Bei G. Reimer.

1850.

Digitized by the Internet Archive
in 2015

https://archive.org/details/journalfurdiebau29unse

THE GETTY CENTER

Inhalt des neun und zwanzigsten Bandes.

Erstes Heft.

1. Über die Strafsenverbindung der beiden Meere bei Panama. . . . . Seite 1

2. Über die Aufhebung der Ungleichmäfsigkeit der durch die Kurbel vermittelten Bewegung. Von Herrn Amtmann *Prehn* zu Ratzeburg. . . . . — 50

3. Zusätze zu der Abhandlung des Herausgebers No. 2, 10, 13 und 17 im 22ten Bande des Journals für die Baukunst „Über die verschiedenen Arten, „die Spannkraft der atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisen„bahnen zu benutzen." . . . . . — 53

4. Über Leuchtthürme. Nach englischen, französischen und deutschen Quellen bearbeitet von Herrn Ingenieur *A. Hefs* zu Göttingen. . . . . — 70

Zweites Heft.

5. Über Leuchtthürme. Nach englischen, französischen und deutschen Quellen bearbeitet von Herrn Ingenieur *A. Hefs* zu Göttingen. (Fortsetzung der Abhandlung No. 4. im vorigen Hefte.) . . . . . — 93

6. Von den Gesetzen der Bewegung der Luft (der Aërodynamik). Nach *D'Aubuisson de Voisins*. (Schlufs der Abhandlung No. 13. im vorigen Bande.) — 142

Drittes Heft.

7. Über Leuchtthürme. Nach englischen, französischen und deutschen Quellen bearbeitet von Herrn Ingenieur *A. Hefs* zu Göttingen. (Fortsetzung der Abhandlung No. 4. im ersten und No. 5. im zweiten Hefte dieses Bandes.) — 191

8. Über die italienische Bauart zur Zeit der Wiedergeburt der Künste (Renaissance). Von dem Herrn Oberbaumeister *Engelhard* zu Cassel in Hessen. — 209

9. Über die Form der Spitzen einzurammender Pfähle. Von dem Herrn Wegebaumeister *Kossak* zu Lauenburg in Pommern. . . . . Seite 252

10. Zur Theorie der Gewölbe. Von dem Herrn Bau-Conducteur *Scheffler* zu Braunschweig. . . . . — 255

11. Fragen über Fuhrwerkräder. Von Herrn *B.* auf der Insel Rügen. . . . — 282

Viertes Heft.

12. Beschreibung der Bergung des Wracks vom Linienschiffe *Christian VIII.* Ausgeführt 1849 von Herrn *Gallann*, Wasserbau-Inspector zu Hamburg. — 283

13. Zur Theorie der Gewölbe. Von dem Herrn Bau-Conducteur *Scheffler* zu Braunschweig. (Fortsetzung der Abhandlung No. 10. in diesem Bande.) . — 325

14. Über Leuchtthürme. Nach englischen, französischen und deutschen Quellen bearbeitet von Herrn Ingenieur *A. Hefs* zu Göttingen. (Fortsetzung der Abhandlung No. 4. im ersten, No. 5. im zweiten und No. 7. im dritten Hefte dieses Bandes.) . . . . . — 349

1.

Über die Strafsenverbindung der beiden Meere bei Panama.

Wir haben im 22ten und 23ten Bande dieses Journals von den Nachrichten, welche damals über die Entwürfe, das Mittelländische- mit dem Rothen Meere bei Suez und das Atlantische- mit dem Stillen Meere durch die Land-Enge bei Panama durch einen Canal oder durch eine Eisenbahn zu verbinden, vorhanden waren, diejenigen mitgetheilt, nach welchen sich noch am meisten über diese Gegenstände urtheilen liefs. Aber diese Nachrichten waren noch sehr unvollkommen, denn es fehlte noch an wirklichen Messungen und Höhenwägungen irgend einer Linie; und ohne solche Messungen ist bekanntlich keine, irgend sichere technische Beurtheilung möglich. Es nutzt noch fast gar nichts, zu wissen, wie weit in dieser oder jener Richtung die beiden, mit einander durch eine Strafse zu verbindenden Meere von einander entfernt sind, wie hoch sich der zu übersteigende Bergrücken über die Meere erhebt und ob die Häfen zum Anlanden an die neue Linie leicht oder schwer herzustellen sind: es kommt auf wirkliche Ausmessungen irgend einer der möglichen Strafsenlinien, nach Länge und Höhe, und auf Messungen Dessen, was zu den Häfen nöthig ist, an. Ohne solche Messungen sind alle Angaben der *Kosten* der Herstellung der Strafse nichts weiter als blofse *Schätzungen*, aber so unsicher, dafs man nicht gewifs weifs, ob die Strafse 10, 20, 50 oder 100 Millionen Thaler kosten werde; ja man ist selbst nicht einmal im Stande, zu sagen, ob eine Strafse, besonders ein *Canal*, wenn es auch auf die Höhe der Kosten *gar nicht* ankäme (was doch niemals der Fall ist), überhaupt nur, dem Zwecke genügend, *möglich* sein werde.

Jetzt ist für die Strafsenverbindung des Atlantischen- mit dem Stillen Meere bei Panama wenigstens *eine* wirkliche Messung vorhanden, nemlich die des Herrn Ober-Berg-Ingenieur *Garella*, welchem die Französische Regierung einen Entwurf dieser Strafsenverbindung aufgetragen hatte und der seinen Bericht darüber im Jahre 1845 erstattet hat. Wir erwähnten am Schlusse unserer damaligen Nachrichten, im 1ten Heft 23ten Bandes dieses Journals,

dieses Berichts und theilten mit, was darüber vorläufig das Journal des Débats im Mai 1845 äufserte. Über den Bericht des Herrn *Garella* und den Gegenstand selbst ist seitdem durch den 1ten Band der „Annales des ponts et chaussées" vom Jahre 1847 das *Urtheil* bekannt geworden, welches die von der Französischen Regierung damit beauftragte Commission *Sachverständiger* gefällt hat; und dieses Urtheil, welches zugleich den wesentlichen Inhalt des Berichts des Herrn *Garella* und eine *Zeichnung* und Carte von seinem Entwurfe beifügt, ist ein weiterer Schritt zu der Beurtheilung des Gegenstandes.

Nach den Angaben, die jetzt wenigstens über die Strafsenverbindung des Atlantischen- mit dem Stillen Meere vorliegen, läfst sich nun schon *etwas sicherer* über die Frage urtheilen, ob und wie *diese* Strafsenverbindung möglich und rathsam sein werde; obgleich zu einem *völlig* sichern Urtheil noch immer gar viel fehlt.

Da der Gegenstand so überaus wichtig ist und Jeden anregen mufs, der einen *wirklichen* Fortschritt des Wohls der Völker wünscht, so verfehlen wir nicht, wiederum Das, was durch das Obenbezeichnete jetzt gewonnen ist, den Lesern dieses Journals vorzulegen: nemlich den genannten Bericht der Commission und dann noch zwei Briefe eines Englischen Sachverständigen und des Herrn *Garella,* die ebenfalls auf die Frage Bezug haben und welche die „Annales des ponts et chaussées" dem Berichte der Commission folgen lassen.

Am Schlusse werden wir uns wieder erlauben, einige, nunmehr etwas fester zu begründen mögliche Bemerkungen hinzuzufügen, die um so mehr sich aufdrängen, da sie einige *Hauptpuncte* betreffen, welche, wie es scheint, noch nicht hinlänglich und sogar nur erst wie im Vorbeigehen berücksichtigt wurden.

Über den vom Herrn Ober-Berg-Ingenieur Garella vorgelegten Entwurf zur Canalverbindung des Atlantischen- mit dem Stillen Meere bei Panama.

(Von einer aus den General- und Divisions-Inspectoren der Brücken und Wege, *Févre*, *Minard* und *Cavenne* (der letztere als Bericht-Erstatter), zusammengesetzten Commission.)

Vorbemerkung.

Wegen der Geringheit der Entfernung der westlichen Küste des Mexicanischen Meerbusens von der Küste des Meerbusens von Darien, also des Atlantischen- vom Stillen Meere, hat man seit lange den Gedanken gehabt, diese beiden Meere durch einen Canal zu verbinden, um der Schifffahrt den weiten Weg um das Cap Horn herum abzukürzen.

Schon *Carl V.* scheint im Jahre 1534 Anweisungen zu dem Entwurf eines dortigen Canals gegeben zu haben, und man bezeichnete gegen 1551 die Puncte Panama, Nicaragua und Tehuantepec als diejenigen, wo die Verbindung Statt finden müfste; aber die langen Kriege *Philipp II.* gegen einen Theil von Europa, und darauf die Schwäche seiner Nachfolger, machten, dafs man den Gedanken an die Canalverbindung wieder aufgab und sogar vergafs. Die drei genannten Puncte werden ausdrücklich von dem Geschichtschreiber *Lopez de Gomara* genannt. Panama liegt jetzt in Neu-Granada, Nicaragua in Mittel-America und Tehuantepec in Mexico.

Die Spanier, sei es, dafs sie erst wenig mit der Benutzung der damals noch neuen Erfindung der Schleusen bekannt waren, oder dafs sie vielleicht aus religiösen Vorurtheilen meinten, Meere, welche die Natur getrennt habe, liefsen sich nicht verbinden, oder auch, dafs sie späterhin den Besuch Europäischer Schiffe in Ländern nicht mochten, welche sie allein ausbeuteten, beschränkten sich darauf, die Erträge ihrer Bergwerke auf einer sehr beschwerlichen Strafse von Panama nach Porto-bello, oder auf einem eben so schlechten Wege von Panama nach Cruces und von Cruces, auf dem Chagresflusse, nach dem Antillen-Meer fortschaffen zu lassen.

Gegen das Ende des achtzehnten Jahrhunderts kam man auf den Entwurf einer Durchgrabung der Land-Enge zurück. Herr *A. v. Humboldt* lenkt in einem Werke, welches er über seine in den Jahren 1803 und 1804 in America gemachten Reisen herausgab, die Aufmerksamkeit auf die Canalverbindung der beiden Meere und bezeichnete den Americanischen Regierungen, aufser den oben genannten drei Puncten, noch verschiedene andere, wo die Verbindung ausführbar sein könnte.

Die Regierung von Neu-Granada versuchte es zuerst, auf die Untersuchung und Ausführung dieser grofsen Unternehmung einzugehen und ertheilte im Jahre 1838 einer französisch-granadischen Gesellschaft, welche in Frankreich durch Herrn *Salomon* vertreten war, das ausschliefsliche Recht zur Strafsenverbindung der beiden Meere.

Man hat uns auch gesagt, dafs schon kurz vor 1830 der König von Holland, ohne Zweifel zum Vortheil der Holländischen Besitzungen in dem Indischen Meere, den Herrn Ingenieur *Simon* nach Panama gesendet habe, um die Möglichkeit eines Canals für die Meerschiffahrt zu untersuchen, dafs aber diese Untersuchung weiter keinen Erfolg gehabt habe; theils wegen des Absterbens des genannten Ingenieurs, theils wegen der bald darauf erfolgten Trennung Hollands von Belgien.

Die Ergebnisse der Untersuchungen der *Salomon*'schen Gesellschaft, welche sich schon aufgelöset hatte, jetzt aber auf neuen Grundlagen sich wieder zu vereinigen sucht, scheint die französische Regierung für so wichtig gehalten zu haben, dafs sie sich im September 1843 entschlofs, den Ober-Berg-Ingenieur Herrn *Garella* an Ort und Stelle zu senden, um die Möglichkeit einer Strafsenverbindung der beiden Meere näher zu prüfen.

Herr *Garella* hat diesen Auftrag eifrig und thätig ausgeführt und seinen Entwurf im April 1845 der Regierung vorgelegt; worauf uns am 19ten Juli 1845 die Prüfung desselben aufgetragen wurde.

Wir werden dies hier nach unsern besten Kräften thun, und bemerken, dafs die Arbeit des Herrn *Garella* in einem Atlas besteht, mit der Hauptcarte von der Land-Enge, in welcher die von ihm vorgeschlagene Linie des Canals angegeben ist, so wie mit Profilen und andern wichtigen Angaben, und dann in einem Quartbande, enthaltend die Erörterungen und Kostenberechnungen.

In dem ersten Abschnitt unseres Berichts werden wir die Erörterungen des Herrn *Garella* durchgehen, und dann in einem zweiten unsere Bemerkungen und unsere Meinung über den Entwurf aussprechen.

Erster Abschnitt.

Auseinandersetzung des Entwurfs des Herrn Garella.

1.

Von der zu eröffnenden Strafsenverbindung selbst.

Das Werk des Herrn *Garella* ist in eilf Abschnitte getheilt, deren erster Allgemeines enthält.

Der zweite Theil bespricht *die Art* der zu wünschenden Strafsenverbindung der beiden Meere. Obgleich Chagres von Panama in gerader Linie nur 17257 Ruthen entfernt ist, mufs man jetzt doch, um von dem einen nach dem andern dieser Orte zu gelangen, erst 18500 bis 20700 Ruthen auf dem Chagresflufs in Booten fahren, um nach Cruces oder Gorgona aufwärts zu kommen, und dann noch einen sehr schlechten Weg von 6900 bis 8000 Ruthen zurücklegen. Diese Reise, welche mehrere Tage Zeit erfordert, kostet etwa 1 Thlr. auf die Meile [doch wahrscheinlich für die *Tonne* von etwa 20 Ctr. D. H.], und der Verkehr ist hier so gering, dafs jährlich nur etwa 396 Tonnen von einem Meer nach dem andern geschafft werden; von welchen blofs 172 Tonnen durchgehende Waaren sind.

Unter diesen Umständen fragt sich Herr *Garella,* ob man sich hier nicht mit einer Eisenbahn, oder mit einer guten Chaussée zwischen Chagres und Panama begnügen solle. Er verneint Beides, weil dann am Atlantischen Meere *zweimal* und am Stillen Meere ebenfalls *zweimal* umgeladen werden müfste. Er berichtet, dafs in den beiden Häfen, zu Panama und zu Chagres, das Wasser für grofse Schiffe nicht tief genug sei und dafs also die aus dem Atlantischen Meere kommenden Schiffe erst in Mexicanischen Häfen und die Schiffe aus dem Stillen Meere auf der Rhede von Panama in kleinere Schiffe umladen müfsten.

In Folge dieser Erwägungen ist er der Meinung, dafs für den grofsen Handel nur ein *Canal* genügen würde, der so geräumig sei, dafs ihn die gröfsten Handelsschiffe von einem Meere bis zum andern befahren können. Er betrachtet eine gewöhnliche Chaussée als nur für die Verbindungen im Lande selbst hinreichend.

2.

Beschreibung der Land-Enge von Panama.

Im dritten Abschnitt bemerkt Herr *Garella*, wie die beiden America, von der Behringstrafse an bis zum Cap Horn, auf 1860 Meilen lang, von einer Kette von Bergrücken durchzogen sind, die vom nördlichen Ende an bis Mexico die *Felsgebirge* und von Panama bis zum Feuerlande die *Cordilleren der Andes* heifsen und dafs die Höhe dieser Berge ziemlich in dem Verhältnifs der *Breite* der Landflächen steht, auf welchen sie liegen, indem sie in Nord- und Süd-America sehr hoch sind und auf der Land-Enge von Panama sehr tief sich hinabsenken. Die Land-Enge von Panama sei, als am Guasacoalcofluſs im Meerbusen von Mexico anfangend und bis zum Meerbusen von Darien sich erstreckend, zu betrachten [Man sehe die Carte Taf. VIII. zum 3ten Heft 22ten Bandes dieses Journals. D. H.], und in dieser Ausdehnung, vom 6ten bis zum 12ten Grade nördlicher Breite, finden sich die verschiedenen Stellen, welche im Allgemeinen als die vortheilhaftesten zur Strafsenverbindung der beiden Meere zu betrachten sein dürften.

Herr *Garella* bemerkt, dafs die Staaten Yucatan und Mittel-America nur als Verbreiterungen der Land-Enge von Panama nach dem Atlantischen Meere hin zu betrachten sind und sagt, er werde, nach der gewöhnlichen Art, unter *Land-Enge von Panama* nur den Staat *Neu-Granada* verstehen, in welchen sein Entwurf fällt.

Er meint andrerseits, dafs die 17257 Ruthen Entfernung zwischen Chagres und Panama sich auf 15400 Ruthen von Chagres und der 2½ bis 3 Meilen nördlich von Panama befindlichen Mündung des Caïmitofluſses abkürzen lasse und dafs die Entfernung zwischen der Bai von San-blas und dem Chepofluſs (Taf. I.), südlich von dieser Stadt, sogar nur 13275 Ruthen beträgt.

Obgleich Herr *Garella* auf diese Bemerkungen nicht weiter fortschliefst, so sieht man doch, dafs er jener Umstände wegen die Linie aus dem Chagresthal nach dem Caïmitothal, die Wasserscheide zwischen den beiden durchschneidend, für die Verbindung der beiden Meere am vortheilhaftesten hält.

In der That schlägt er diese Linie vor; mit der Bemerkung, dafs sich die Wasserscheide hier nur 414 bis 446 F. hoch über den Meeresspiegel erhebt und dafs die Linie durch die Gestalt der Boden-Oberfläche selbst bezeichnet wird; nemlich vom Südmeer her durch die Richtung des Bernardinoflusses, der sich mit seinen Zuflüssen in den Caïmitofluſs ergiefst, und vom Atlantischen

Meere her durch den Quebradoflufs mit seinen Nebenflüssen, der oberhalb des Dorfes Palenquilla in den Chagresflufs fällt.

Hierauf giebt Herr *Garella* über die Ebbe und Fluth der beiden Meere und über die Mündung des Chagres- und des Caïmitoflusses Auskunft.

Der Unterschied der Höhe von Ebbe und Fluth im Atlantischen Meere beträgt nur 13 bis 15¼ Zoll; die stärksten Fluthen im Stillen Meere dagegen steigen 19 F. 5 Zoll über das niedrigste Wasser, und zu Panama 18 F. 8 Z. über den höchsten Stand des Atlantischen Meeres. Der mittlere Wasserstand zu Panama, nemlich die mittlere Höhe zwischen dem höchsten und niedrigsten, liegt 9 F. 4 Z. hoch über dem mittleren Wasserstande im Atlantischen Meere.

Vor der Mündung des Chagresflusses liegt eine Sandbank, auf welcher nur 12¾ F. Wasser steht und über welche nur Schiffe fahren können, die 11 F. 2 Z. tief eintauchen. Die Fluth steigt im Chagresflufs 7434 Ruthen weit bis über den Einflufs des Trinidadflusses hinauf und die Tiefe des Flusses auf dieser ganzen Strecke ist etwa 16 F. Oberhalb der Einmündung des Trinidadflusses läfst sich aber der Chagresflufs wegen des starken Gefälles und der geringen Tiefe nur mit Beschwerlichkeit befahren, und bis Cruces nur mit kleinen Booten.

Die Mündung des Caïmitoflusses ist noch weniger günstig, als die des Chagres; sie wird bei der Ebbe trocken und jetzt nur bei der Fluth von Barken befahren.

Man wird weiter unten sehen, dafs Herr *Garella* dieser Umstände wegen den Schiffahrtscanal am Atlantischen Meer in die Bai von *Limon* und am Stillen Meer in die Bai von *Vaca de Monte* ausmünden lassen will.

Beim Anblick der Carte möchte man fragen, warum man nicht den Canal weiter östlich legen sollte, etwa vom Rio grande, der sich ins Stille Meer ergiefst, nach dem Thale des Chagresflusses bei Cruces oder Gorgona hinüber; oder auch, warum nicht westlich vom Caïmito Thale nach dem Thale des Rio Trinidad hinüber.

Auf die *erste* Frage erwiedert Herr *Garella*, dafs *erstlich* der Rio grande über ein Ufer hin ins Stille Meer ausmündet, welches bei der Ebbe trocken wird, und dafs *zweitens* nach Cruces oder Gorgona hin eine höhere Wasserscheide zu übersteigen und ein viel längerer Tunnel daselbst nöthig sein würde. Auf die *zweite* Frage erwiedert er, dafs auch vom Caïmito- nach dem Trinidadflusse hin, wegen des unebnen Bodens, nur mit grofsen Schwierigkeiten zu gelangen sein würde; desgleichen, dafs hier die Wasser-

scheide dem Stillen Meere sehr nahe liege und also das Herabsteigen von derselben steiler und schwieriger sein würde.

3.

Beschaffenheit des Bodens der Land-Enge, und Stoffe für den Bau.

Herr *Garella* hat diesen Gegenständen zwei Abschnitte gewidmet, die wir in einen zusammenziehen.

Von seinen sorgfältigen Untersuchungen der ***Beschaffenheit des Bodens*** der Land-Enge fafst er das Ergebnifs in folgende Worte zusammen.

„Überhaupt sind auf dieser Land-Enge vier verschiedene Arten der „Bodenbildung zu unterscheiden, nemlich:

„*Erstlich* aus Porphyr und Trapp, welche die ausgedehnteste ist, „indem alle Berge, von der Umgebung von Panama an, bis zu den letzten „Hügeln von *Varro colorado,* daraus bestehen."

„*Zweitens* aus Sandstein und Übergangs-Grauwacke, welche sich „bei Panama selbst, so wie in dem Thale von Cerro-grande finden und zu „welchen man auch vielleicht die Felsen von Barbacoa rechnen mufs."

„*Drittens* aus einer secundären Bildung, die nur an einer Stelle un-„terhalb Vamos-Vamos vorkommend anzunehmen sein würde, falls die Felsen „von Barbacoa zu der vorigen Bildung gehören sollten."

„*Viertens* aus Sandstein mit Muschelkalk; einer tertiären Bildung, die, „nach der aus Porphyr und Trapp, am ausgedehntesten ist."

Aus diesen Angaben würde, nach Dem was uns Herr *Garella* gesagt hat, folgen: *Erstlich,* dafs die beiden Abhänge des Canals, von der Scheitelstrecke an, einige Stellen ausgenommen, einen tiefen und festen Boden finden würden. *Zweitens,* dafs die Scheitelstrecke und die Einschnitte für ihre Zugänge einen Felsen finden würden, in welchem schon von sehr steilen Böschungen kein Einsturz zu besorgen ist. *Drittens,* dafs die meisten Stellen des Tunnels *nicht* zu überwölben nöthig sein würden. *Viertens,* dafs man nicht auf bewegliche Thonbänke stofsen würde, die sich an der Luft auflösen. *Fünftens* endlich, dafs man überhaupt einen festen und wenig wasserziehenden Boden antreffen würde.

Zu ***Baustoffen*** findet man leicht herbeizuschaffende rohe und behaubare Steine, desgleichen fetten Kalk, im Überflufs; selbst wasserfester Kalk würde vielleicht sich finden; auch würde sich entweder künstliche Puzzolane bereiten, oder natürliche Puzzolane aus Guadeloupe herbeischaffen lassen. Ob

sich Kiesgruben finden würden, ist noch nicht bekannt, indessen wäre leicht Kies vom Meeres-Ufer zu haben. Zudem ist es gewifs, dafs die Spanier in dortiger Gegend vortreffliche Ziegel gebrannt haben, und es ist nicht zu bezweifeln, dafs Werkleute aus Europa, oder aus den Vereinigten Staaten, die Stoffe dazu und das Verfahren leicht wieder finden würden.

Noch ist hinzuzufügen, dafs sehr gutes Bauholz, von verschiedenen Baum-Arten und von grofser Dauer, zur Stelle und fast umsonst zu haben ist.

4.

Richtung und Anordnung des Canals.

Wir haben oben in §. 2. die Richtung des Canals im Allgemeinen bezeichnet. Es kommt nun weiter auf seine Anordnung, auf seinen Quer- und Längsdurchschnitt und auf die Speisung mit Wasser an.

I. *Anordnung des Canals.* Zwischen den Thälern von Rio Paja und Rio Ahogayegua für die Scheitelstrecke wählend, hat sich Herr *Garella* für das letztere Thal, 446 F. hoch über dem Meere, entschieden, weil dasselbe, obgleich um etwas höher als das erste, weniger Umwege erfordert. Der Canal soll hier die Wasserscheide auf 2054 R. lang durchschneiden; und zwar 1421 R. lang unter der Erde und 631 R. lang in tiefen Einschnitten. Der Boden der Scheitelstrecke des Canals (le plafond du bief de partage) soll 131 F. über die Fluth des Stillen Meeres und folglich etwa 315 F. tief unter dem höchsten Punct der Wasserscheide liegen.

Wir werden weiter unter sehen, dafs Herr *Garella* für den Canal überall auf 22 F. 4 Zoll Tiefe des Wassers rechnet, so dafs also das Wasser in der Scheitelstrecke 153 F. hoch über der Fluth des Stillen Meeres, 162½ F. hoch über dem mittlern Wasserstande des Meeres und 172 F. hoch über der tiefsten Ebbe stehen würde.

Von der Scheitelstrecke soll der Canal nach dem Stillen Meere mittels 17 Schleusen hinuntergehen. 12 derselben werden hinreichend weit von einander liegen, aber die 5 ersten sind in eine Strecke von 239 R. lang zusammengedrängt. Jede dieser Schleusen soll 9 F. 6¾ Z. Gefälle bekommen, und aus dem Grundrifs des Canals sieht man, dafs derselbe, nachdem er eine Länge von 3571 R. durchlaufen hat, in einen kleinen Hafen ausmünden soll, den man in der Bai von Vaca de monte zurichten will, wo die Schiffe, wie Herr *Garella* sagt, bei mittlerem Wasserstande des Meeres hinreichende Wassertiefe finden

werden und von wo sie leicht, sowohl nach der Rhede von Panama, als nach den benachbarten Inseln Tabago und Taboquilla gelangen können.

Wir setzen aus der Schrift des Herrn ***Garella*** die Stelle S. 80 her, welche diesen Hafen betrifft.

„Die kleine Bai von Vaca de monte hat nur eine 93 R. breite Öffnung „und fast die Gestalt eines Halbkreises. Einige Peilungen, die am 4ten Juli, „zwei Tage nach der hohen Fluth vom 30sten Juni gemacht wurden, ergaben „9½ F. Tiefe des Wassers bei der Ebbe, fast in der ganzen Breite des Ein- „ganges der Bai, 8 F. 7 Z. in der Mitte und 11 bis 12¾ F. 26½ R. von der „Küste entfernt. Da die Fluth am 4ten Juli auf 15¼ F. hoch geschätzt werden „kann, so ergaben sich für den *mittleren* Wasserstand 18 F. 9 Zoll und „17 F. 3 Z. Wassertiefe am Eingange, 13 F. Tiefe innerhalb und 20 F. 4 Z. „Tiefe auf 26½ R. weit aufserhalb der Bai. Nimmt man für den Boden des „Meeres einen Abhang von 1 auf 200 an, so müfste man, um bis zu 25½ F „Wassertiefe bei mittlerem Wasserstande zu gelangen, 165 R. weit ins Meer „hinausgehen. So weit hinaus also müfste das Austiefen fortgesetzt werden, „zusammen 212 R. weit; mit Inbegriff der Bai, die 19740 Q. R. Fläche hat. Um „den Zugang zur Bai zu sichern, die Einfahrt in dem ausgehöhlten Theile frei „zu erhalten, besonders aber um die Wirkung der Spülung zu sichern und „um zu verhindern, dafs sie sich ohne Nutzen seitwärts ausdehne, wird man „nothwendig den Zugang an jeder Seite mit einem Steindamm von wenigstens „160 R. lang einfassen müssen."

Nach dem Atlantischen Meere hin würde der Canal von der Scheitel-strecke ab zunächst dem Thale des Rio Pajo und dem des Rio benito folgen, welches ihn weiter in das Thal des Quebrado führt; dieses Thal durchschneidet er auf einer Brücke. Hierauf erstreckt sich der Canal weiter in dem Thale des Chagresflusses, welches er bei Palenquilla und in welchem er den Rio Trinidad erreicht. Er ist in dieser Strecke 8910 R. lang und erfordert viele Erd-Arbeit, so wie 18 Schleusen, jede mit 9 F. 6¾ Z. Gefälle, deren geringste Entfernung von einander 160 bis 186 R. beträgt.

Etwas oberhalb der Einmündung des Trinidad- in den Chagresfluſs geht die Schiffahrt auf diesen letzten Fluſs über, dessen Lauf zu dem Ende mehr geordnet und vertieft werden soll. Sie bleibt auf dem Chagresflusse 2472 R. lang bis zum Flusse Gatun, wo sie wieder in einen Canal über und nun bis zur Limon-Bai fortgeht, in welche der Canal, ein wenig unterhalb Cerro-de-los-Colorados, ausmündet. Wir haben schon bemerkt, dafs gröfsere Schiffe in

diese Bai gelangen können, welche man gegen die Nord- und Nordwestwinde durch einen hinreichend langen Steindamm zu schützen gedenkt. In dem letzten 3292 R. langen Theil des Canals kommen sehr tiefe Einschnitte vor. Der Boden des Canals wird 22 F. 4 Z. tief unter den Meerwasserspiegel gelegt und bei dem Ausgange aus dem Chagresflusse erhält er eine neunzehnte Schleuse.

Die Länge der einzelnen Strecken des Canals und seine gesammte Länge sind also folgende.

Vom Hafen von Vaca de monte bis zur Scheitelstrecke	3571	Ruthen.
Länge der Scheitelstrecke	2052	– –
Von der Scheitelstrecke bis zum Chagresflusse sind . .	8910	– –
Auf dem Chagresflusse	2472	– –
Vom Chagresflusse bis zur Limon-Bai	3292	– –
Thut zusammen	20297	Ruthen
oder etwas über	10	Meilen.

II. *Querschnitt des Canals.* Herr *Garella* schlägt vor, denselben so grofs anzuordnen, dafs Schiffe von 1200 Tonnen Ladung, wie sie den Handel aus China und den beiden Indien bedienen, den Canal befahren können. Nach seinem Dafürhalten wird diese Schiffahrt aus den Europäischen Häfen um so mehr hierher ihren Weg nehmen, da sie hier durch Passatwinde begünstigt wird und ein ruhiges Meer findet. Er erkennt indessen an, dafs die grofsen Schiffe auf der Rückreise doch vorzugsweise das Vorgebirge der guten Hoffnung umfahren dürften und dafs anderntheils die Schiffe, welche das Südmeer befahren, nur 350 bis 500 Tonnen zu tragen pflegen.

Da Schiffe von 1200 Tonnen Tragkraft $20\frac{3}{4}$ F. tief eintauchen, 43 F. 10 Z. breit und 191 F. vom Schnabel bis zum Spiegel lang sind, so giebt Herr *Garella* dem Canal, wie gesagt, 22 F. 4 Z. Wassertiefe und den Schleusen 44 F. 8 Z. Breite und 204 F. Länge zwischen den Thoren.

In gewöhnlichem Boden giebt er dem Canal unten $63\frac{3}{4}$ F. Breite und $1\frac{1}{2}$ füfsige Böschungen, mit Banketts, um die etwa nachstürzende Erde aufzufangen. Im Wasserspiegel soll der Canal 143 F. 4 Z. breit werden und an jeder Seite einen Leinenpfad von 19 F. Breite bekommen. Da, wo der Canal durch Felsen gehen mufs und also stärkere Böschungen bekommen kann, vermindern sich diese Maafse; besonders in der Scheitelstrecke, wo die Schiffe sich nicht sollen begegnen dürfen und wo nur ein einzelner $12\frac{3}{4}$ F. breiter

Ziehpfad sein soll. Dort soll der Canal nur 50 F. im Boden und 54 F. im Wasserspiegel breit sein.

Der Tunnel soll im Spitzbogen ausgehauen und 118 F. über dem Boden und 95⅔ F. über dem Wasser hoch werden. Die Schiffe sollen, um hindurch zu fahren, ihre Marssegelstangen ablegen. Herr *Garella* glaubt, man werde für den Tunnel einen so festen Felsen finden, dafs es nicht, oder doch nur theilweise nöthig sein werde, ihn zu überwölben.

III. *Speisung des Canals mit Wasser.* Herr *Garella* rechnet, dafs täglich 10 Schiffe die Scheitelstrecke sollen befahren können, und findet, dafs mit Rücksicht auf den versiegenden, verdunstenden und durch die Schleusenthore verloren gehenden Theil vom Wasser, so wie mit Rücksicht auf das dortige Clima, 6 145 700 C. F. Wasser täglich nöthig sein würden, von welchen 3 752 112 C. F. auf die Scheitelstrecke, auf den Abflufs nach Süden und die ersten 8 Schleusenstrecken nach Norden, und 2 393 588 C. F. auf die übrigen 9 nördlichen Schleusenstrecken kommen würden.

Hierauf berichtet er, dafs sich bei einer in dem trocknem Jahre 1844 zu Gorgona, etwa 35 F. hoch über dem Meere angestellten Messung des Chagresflusses gefunden habe, dafs in der Secunde 629 C. F. Wasser (19,45 Cub. Meter) durch diesen Flufs strömen. [Wenn das Wasser in dem Flufs auch nur 1 F. in der Secunde sich fortbewegte und der Flufs auch nur 5 F. tief wäre, so müfste er nur 126 F. breit sein. Sollte hier vielleicht ein Druckfehler sein? D. H.] Herr *Garella* zweifelt nicht, dafs sich von oberhalb der Strafse von Panama, nach Porto-Belo hin, aus dem Chagresflusse, 188 F. hoch über dem Atlantischen Meere, leicht 81 C. F. Wasser in der Secunde, und zwar 48½ C. F. nach der Scheitelstrecke durch eine 16461 R. (62 Kilometer) und 32½ C. F. von einem tiefer liegenden Puncte durch einen 9824 R. (37 Kilometer) langen Graben nach der 9ten nördlichen Schleusenstrecke hinleiten lassen würden. [Hier sind vielleicht wieder Druckfehler; denn 5 bis 8 *Meilen* weit ist nach der Carte der Chagresflufs nirgend von dem Canal entfernt; und wären so ungeheure Umwege und Krümmungen für die Zuleitungsgräben nöthig, so würde die Speisung des Canals sehr mifslich sein. D. H.] Andrerseits fügt noch Herr *Garella* hinzu, dafs sich nahe an der Scheitelstrecke des Canals leicht ein Behälter von 485 Millionen C. F. Inhalt herstellen lassen würde.

5.

Kosten des Canals.

Folgendes ist die Übersicht der Kosten; wie sie Herr *Garella* schätzt.

1. Die Scheitelstrecke, 2052 R. lang.

Für den 1420 R. langen Tunnel, zu 6732 Thlr.,	9 599 440 Thlr.	
Zu den 632 Ruthen langen Einschnitten nach den Zugängen hin, für 305 566 Sch. R. Abtrag, zu 9 Thlr., ...	2 750 094 –	
		12 309 532 Thlr.

2. Abhang nach Süden, 3571 R. lang.

Für 433 120 Sch. R. Abtrag, zu 1 Thlr. 11¼ Sgr.,	595 540 Thlr.	
Für 493 000 Sch. R. Aufschüttung, zu 1 Thlr. 6⅙ Sgr.,	593 553 –	
		1 189 093 –

3. Abhang nach Norden, 8910 R. lang.

Für 1 367 040 Sch. R. Abtrag von Felsen und Erde, zu 1 Thlr. 29 Sgr., ...	2 688 512 Thlr.	
Für 1 163 792 Sch. R. Aufschüttung, zu 14⅕ Sgr.,	550 861 –	
		3 239 373 –

4. Ordnung und Vertiefung des Chagres-flusses auf 2472 R. lang.

Geschätzt zu	1 031 609 –

5. Canal nach der Limon-Bai, 3292 R. lang.

Für 1 660 224 Sch. R. Ausgrabung, zu 2 Thlr. 6½ Sgr., ...	3 680 163 Thlr.	
Für 54 090 Sch. R. Ausbaggerung, zu 4 Thlr. 9⅓ Sgr., ...	233 188 –	
		3 913 351 –

6. Zuleitungsgraben.

Etwa 26 550 R. lang, zu 25 Thlr. 3⅓ Sgr. die Ruthe, ...	666 700 –

7. Nebenbauwerke.

Für 36 Schleusen, zu 160 000 Thlr., . . .	5 760 000 Thlr.	
Für Brücken zum Canal und gewöhnliche Brücken.	272 000 –	
		6 032 000 –
	Bis hierher	28 381 660 Thlr.

		Bis hierher 28 381 660 Thlr.
8. Hafen zu Limon.		
Für einen 265½ R. langen Hafendamm . .	1 089 347 Thlr.	
Für Ausbaggerung von 561 500 Sch. R. Erde und Schlamm	1 333 333 -	
		2 422 680 -
9. Hafen zu Vaca de monte.		
Für Steine und Mauerwerk	1 206 905 Thlr.	
Für Ausbaggerung von 188 664 Sch. R. Erde und Schlamm	448 000 -	
		1 654 905 -
10. Für Arbeitsstrafsen und Unvorhergesehenes		874 088 -
		Zusammen 33 333 333 Thlr.

Wenn man von diesen 33⅓ Millionen Thaler gesammten Kosten die ungefähr 4 Millionen, welche die Einrichtung der Häfen kosten würden, abzieht, so bleiben für die 20 297 R. lange Wasserstrafse etwa 29¼ Mill. Thaler, was für die laufende Ruthe etwa 1441 Thaler ausmacht.

Bei der obigen Kostenschätzung wird vorausgesetzt, dafs der Tunnel *nicht* überwölbt werden soll. Herr ***Garella*** bleibt dabei, dafs dieses Überwölben, welches an 3 800 000 Thaler kosten würde, nicht nöthig sein werde. Für alle Fälle setzt er aber noch 1⅓ Millionen Thaler zu den obigen 33⅓ Millionen hinzu, für etwa zum Tunnel noch nöthige Zulagen und nimmt also für die gesammten Kosten 34⅔ Millionen Thaler an.

Er untersucht nun auch, wie hoch die Kosten steigen würden, wenn man statt des Tunnels, bis auf die für seinen Boden angenommene Höhe über dem Meere hinunter, einen unter dem höchsten Punct der Wasserscheide 315½ F. tiefen Einschnitt machte, so wie, wenn man, um den Tunnel zu vermeiden, den Boden der Scheitelstrecke 178½ F. hoch über den Meeresspiegel legte. Er verwirft beide Auswege: den ersten, weil die Masse der Aushöhlung zu dem Einschnitt zu ungeheuer grofs sein würde: den andern aber besonders deshalb, weil dann die Speisung des Canals mit Wasser zu schwierig und die Zahl der nöthigen Schleusen so sehr vergröfsert werden würde, dafs sich auf dem Abhange nach dem Stillen Meere hin nicht mehr Raum genug fände, um sie angemessen von einander zu entfernen.

6.

Ertrag der Wasserstrafse.

Nach der Angabe des Handels-Ministerii beträgt die Zahl der den vier gröfsten Seemächten, Frankreich, England, America und Holland, gehörigen Handelsschiffe, welche das Vorgebirge Horn und das Vorgebirge der guten Hoffnung im Jahre 1841 umfahren haben, 2966, von zusammen 1 203 782 Tonnen [zu etwa 20 Ctr.] Tragkraft. Es ist nicht genau bekannt, welche Theile dieser Masse auf die eine und die andere Strafse kommen, indessen glaubt Herr *Garella*, dafs es, nach den Bedürfnissen der Gegenden und nach der Bedeutsamkeit ihrer Handelsverbindungen zu urtheilen, wahrscheinlich sei, dafs auf den Weg um das Cap Horn herum 1567 Schiffe mit 636 482 Tonnen und auf den Weg um das Vorgebirge der guten Hoffnung herum 1399 Schiffe mit 567 300 Tonnen Ladung kommen.

Er setzt voraus, dafs blofs schon durch die natürliche Zunahme des Handelsverkehrs, ohne diejenige zu berücksichtigen, welche die Verbindung der beiden Meere bei Panama hervorbringen würde, die Masse der um das Vorgebirge Horn herum gehenden Waaren bis auf 700 000 Tonnen steigen werde und verlangt dann einen Zoll von 2 Thlr. 20 Sgr. für die Tonne [4 Sgr. für den Ctr.] für den Durchgang bei Panama; was einen jährlichen Gesammt-Ertrag von 1 866 666 Thlr. giebt. Für die jährlichen Erhaltungskosten des Canals und für die Verwaltung rechnet er 133 333 Thlr., so dafs 1 733 333 Thlr. reiner Ertrag bliebe, welches grade 5 v. H. der obigen Anlagekosten von $34\frac{2}{3}$ Mill. Thlr. ausmacht.

Den Zoll von 2 Thlr. 20 Sgr. für die Tonne begründet Herr *Garella* darauf, dafs z. B. ein Schiff von 300 Tonnen Tragfähigkeit, wenn es das Vorgebirge Horn umfährt, 1680 Thlr. mehr auszugeben, und um nach Perù zu kommen einen Monat Zeit mehr nöthig hat, so dafs es also durch die Strafse über Panama die Hälfte der Kosten und 1 Monat Zeit ersparen würde. Es ist zu bemerken, dafs hier nicht die wirkliche Ladung der Schiffe, sondern ihre Tragkraft in Anschlag kommt.

7.

Mittel für die Ausführung und sonstige Angaben.

1. ***Bedingung für die Ausführung.*** Herr *Garella* ist der Meinung dafs die Strafsenverbindung der beiden Meere nur unter der Obhut und nur

mit Zuthun der Seemächte ausführbar sei, und nur, wenn England, Frankreich, Holland und die Vereinigten Staaten von Nord-America übereinkommen, selbst im Fall des Krieges die Freiheit der Schiffahrt zu verbürgen. Die Republik Neu-Granada müfste aufserdem diesem Vereine beitreten und sonst örtlich die Schwierigkeiten möglichst erleichtern. Endlich müfsten, nach Herrn *Garella's* Meinung, Frankreich, England und die Vereinigten Staaten von Nord-America, falls Privatleute das Werk unternähmen, denselben 3 v. H. der Kosten für eine gewisse bestimmte Zeit sichern.

II. *Sachliche Mittel für die Ausführung.* Das was die Land-Enge selbst in diesem Punct gewährt, ist, der Angabe zufolge, beinahe Null. Es würden sich dort nur einige wenige und wenig geschickte, gewöhnliche Arbeiter finden; keine Handwerker, Maurer, Zimmerleute, Bergleute, Steinmetzen u. s. w. Das Clima scheint zwar nicht ungesund zu sein, aber es ist sehr heifs und die Regen sind in der Regenzeit so stark, dafs sie die schnelle Ausführung des Werks hindern würden. Indessen glaubt Herr *Garella*, dafs man gewöhnliche Arbeiter in den benachbarten Republiken und jedenfalls in den Vereinigten Staaten finden würde, und dafs sich eine Unternehmer-Gesellschaft, unter dem Schutze von Frankreich und England, Handwerker aus Europa würde verschaffen können.

III. *Verschiedene Angaben.* Herr *Garella* schätzt die Zahl der Einwohner von Panama auf 4 bis 5 Tausend. Herr *M. Chevalier* giebt in seiner Schrift von 1844 die von Chagres auf 3 bis 4 Hundert an, die an einem ungesunden Orte leben und an Wechselfiebern, so wie zum Theil am Aussatz und an der Elephantiasis leiden. Schon die Carte zeigt, wie wenig das Land vom Atlantischen Meere an bis Panama bevölkert ist.

Die Wärme steigt in dortiger Gegend am Tage bis auf 23 bis 34 Graden [18½ bis 27 Gr. R.]. In der heifsesten Jahreszeit ist sie gewöhnlich 28 bis 32 Gr. [22½ bis 25½ Gr. R.].

Die Regenzeit beginnt im Mai und endigt im November. Der Regen strömt dann täglich 3 bis 4 Stunden in solcher Menge herab, dafs es unmöglich ist, im Freien zu arbeiten. Nach Herrn *v. Humboldt* fällt hier jährlich 95 bis 115 Zoll hoch Regen.

8.

Von den Entwürfen der Verbindungsstrafse über Tehuantepec und Nicaragua.

Von denselben giebt Herr *Garella* am Schlusse seiner Schrift folgende Nachrichten.

I. *Von der Strafse über Tehuantepec.* Im Jahre 1842 wurde der Ingenieur *Mono* von der Mexicanischen Regierung mit der Untersuchung dieses Entwurfs beauftragt. Die Ergebnisse derselben, welche 1842 bekannt gemacht wurden, waren folgende. [Man sehe die Carte Taf IX. Fig. 1. Bd. 22. Heft 3. d. J. D. H.]

Erstlich. Die Andeskette senkt sich auf der breiten Ebene von Tarifa bis auf 664 F. hoch über dem Meere hinab.

Zweitens. Vom Atlantischen Meere her kann man nach dieser Ebene gelangen, wenn man den Guasacoalcofluſs und seine verschiedenen Nebenflüsse hinaufsteigt.

Drittens. Nach dem Stillen Meere hin läfst sich in dem Flufsthale des Chicapa bis San Miguel und von da weiter in den Thälern, die in die mit dem Meere in Verbindung stehenden Lagunen östlich von Tehuantepec auslaufen, wieder hinabsteigen.

Viertens. Die Schiffahrtstrafse würde in dieser Richtung etwa 45 Meilen lang sein, wovon aber nur etwa 10½ Meilen Canal wären; nemlich von der Ausmündung des Chicapa in den See an, bis zur Ausmündung des Malatengo in den Guasacualco. Tunnels würden hier nicht nöthig sein, aber tiefe Einschnitte.

Fünftens. Diese Wasserstrafse, von der Geräumigkeit des *Caledoni*schen Canals in England, würde kosten:

Für 150 Schleusen, zu 53 333 Thlr., ...	8 000 000 Thlr.
Für 21 240 R. Canal, zu 477 Thlr., ...	10 133 333 –
Für 6637 R. Zuleitungsgraben, zu etwa 402 Thlr.. .	2 666 667 –
Für 1327 R. desgleichen, zu etwa 603 Thlr., . .	800 000 –
Für Regulirung des Guasocoalcoflusses und Verbesserung der Fahrt in den Lagunen	1 066 667 –
Zusammen	22 666 667 Thlr.

Herr *Garella* beleuchtet einige dieser Ansätze und findet sie zu gering. Er bemerkt darauf, dafs der *Caledoni*sche Canal nur 19½ F. tief ist und dafs, wenn auf dem von Herrn *Mono* entworfenen Canal Schiffe sollten fahren können. die 22½ F. tief ins Wasser tauchen, die Kosten wahrscheinlich

nicht auf $22\frac{2}{3}$, sondern auf 40 Millionen Thaler sich belaufen würden und dafs die Schiffahrtsstrafse $50\frac{1}{3}$ Meile lang sein würde.

II. *Von der Strafse über Nicaragua.* [Man sehe die Carte Taf. X. im 22. Bande 3. Heft d. J. D. H.] Von Ufer zu Ufer gemessen, nemlich vom Hafen San Juan de Nicaragua grade hinüber, sagt Herr ***M. Chevalier,*** sind die beiden Meere 20 Meilen von einander entfernt; schräg hinüber, nach San Juan du Sud, $33\frac{1}{4}$ Meilen, und bis nach Realejo 53 Meilen.

In der Mitte der Land-Enge befinden sich hier die beiden Seen Leon (Managua) und Nicaragua. Der erste liegt 156 F. hoch über dem Meere und entladet sich in den zweiten, welcher 29 F. tiefer liegt.

Die Bergkette, welche die beiden Seen von dem Stillen Meere trennt, ist 4000 bis 5300 R. breit. Sie ist zweimal nivellirt worden: zuerst gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts von ***Don Galesteo,*** und etwas später von dem Englischen Officier Herrn ***Bailey.***

Herr ***Garella*** erwägt sorgfältig die beiden Richtungen und glaubt, dafs in denselben viel mehr Einschnitte vorkommen und die Schwierigkeiten und Kosten viel bedeutender sein würden, als in der Richtung auf Panama; so dafs beide nicht in Betracht kämen. Er fügt indessen hinzu, dafs man später einen Weg von dem See Nicaragua nach dem Stillen Meere angezeigt habe, wo sich der Boden nur noch 48 F. hoch über den See erhebt. Sei dies richtig: dann allerdings haben die Linien von Nicaragua den Vorzug. Die Schiffahrtsstrafse in denselben würde $65\frac{3}{4}$ Meilen lang sein, von welchen $21\frac{3}{4}$ Meilen auf den See kommen, wo Dampfboote die Schiffe ziehen könnten.

Herr ***Garella*** schliefst seine Schrift mit folgenden Bemerkungen.

„Ungeachtet des Mifstrauens, wie die Übertreibung sie verdient, mit „welcher man die Richtung über Nicaragua empfohlen hat, dürfte es doch „nöthig sein, ehe man sich für die eine oder die andere Linie entscheidet, die „Gegend zwischen dem Leonsee und dem Stillen Meere noch erst genau zu „untersuchen. Erst dann würde sich gründlich zwischen den beiden Linien „über Nicaragua und über Panama entscheiden lassen."

Zweiter Abschnitt.

Bemerkungen der Prüfungs-Commission.

Eine genaue Prüfung des *Garella*schen Plans hat uns auf wesentliche Bedenken gegen denselben geführt. Wir sagen nichts weiter über die Wichtigkeit einer Strafsenverbindung der beiden Meere, besonders für einige Staaten; denn diese ist offenbar. Wir gehen zu dem Plan selbst über und werden dann allgemeine Bemerkungen beifügen.

9.

Von dem Entwurfe des Herrn Garella im Allgemeinen. Herr *Garella* hat die Land-Enge bei Panama mit Geschick durchforscht, um die rechte Linie für eine Wasserstrafse zur Verbindung der beiden Meere zu finden. Die Anschauung der Gegend, die von demselben aufgenommene Carte und die Höhen-Abwägung, welche er besorgt hat, haben ihn zu dem Ergebnifs geführt, dafs die Linie des Canals nach dem Stillen Meere hin durch die Thäler der Flüsse Bernardino und Caïmito, und nach dem Atlantischen Meere hin durch die Thäler der Flüsse Quebrado und Chagres zu ziehen sein dürfte. Die Wasserscheide liegt in dieser Linie dem Stillen Meere sehr nahe und 446 F. hoch über dem Meeresspiegel. Herr *Garella* will den Canal in einem Tunnel, 131 F. hoch über dem Meere, durch den Bergrücken der Wasserscheide führen; und zwar will er die Scheitelstrecke des Canals deshalb so weit hinabsenken, damit die Zahl der nöthigen Schleusen geringer werde und nach dem Südmeere hin Raum genug bleibe, um sie genügend von einander entfernen zu können. Dieser ganze Entwurf, welchen Herr *Garella* selbst nur als eine Vorarbeit betrachtet, ist nach unserer Meinung verständig und völlig kunstgerecht. Der Längsdurchschnitt zeigt, dafs die entworfene Linie durch die Nähe des Gebirgsrückens am Südmeere bedingt ist.

Aber für die Seeschiffahrt hat der beabsichtigte Canal zunächst den grofsen Übelstand, dafs die Schiffe durch einen 1421 Ruthen langen Tunnel fahren sollen und dafs dieser Tunnel deshalb sehr hoch sein soll, damit die Schiffe nur die Marssegelstangen abzulegen haben.

Herr *Garella* vergröfsert nach unserer Ansicht die örtliche Schwierigkeit sehr, dadurch, den Canal so grofs machen zu wollen, dafs Schiffe von

1200 Tonnen Tragkraft, die 22 F. 4 Z. Wassertiefe und 96 F. Höhe vom Wasser bis unter das Gewölbe nöthig haben, durch den Tunnel fahren können. Nur ausnahmsweise haben einige Englische Handelsschiffe, die nach *China und Indien* fahren, 1200 Tonnen Tragkraft. In die meisten Französischen Häfen würden so grofse Schiffe nur bei hohen Fluthen gelangen können. Und dann ist es bekannt, dafs diejenigen Handelsschiffe aus Europa und aus den Vereinigten Staaten von America, so wie die gröfsten, zum Wallfischfang bestimmten Schiffe, welche das *Stille Meer* befahren, gewöhnlich nur ***350 bis 600 Tonnen*** tragen können. Demnach sind nach unserer Meinung die für den Canal angenommenen Maafse zu grofs und es dürfte ganz gut angehen, sie bis auf diejenigen des *Caledonischen Canals* hinabzusetzen, der nur 19 F. Wassertiefe hat und gleichwohl von grofsen Seeschiffen befahren wird. Der Tunnel würde dann vom Wasser bis unter das Gewölbe nur 64 bis 73 F. statt 96 F. hoch nöthig sein, und die Schleusen, so wie Alles Übrige, würden ebenfalls weit weniger kosten.

Herr *Garella*, welchem wir diese Ansicht mittheilten, hat sie bereitwillig aufgenommen. Er hat danach die Kosten anders berechnet und uns diese Berechnung am 12ten dieses Monats zugestellt. Nach derselben würden sich dann die Kosten, statt auf $34\frac{2}{3}$, nur noch auf 24 Millionen Thaler belaufen.

10.

Von dem Entwurf im Einzelnen. ***A.*** Wir sehen mit Bedauern, dafs die Angaben wegen der *Speisung* des Canals mit Wasser nicht sehr bestimmt sind. Man hat zwar zu Cruces und Gorgona den Wasser-Ergufs des Chagresflusses gemessen: aber nicht von dort, sondern von weiter oberhalb soll aus dem Flusse das Wasser für den Canal herbeigeleitet werden. Daraus aber, dafs man zu Cruces in dem Flusse 647 C. F. Wasser in der Secunde fand, zu schliefsen, dafs derselbe, 4 bis $5\frac{1}{2}$ Meile weiter oberhalb, noch 81 C. F. werde liefern können, scheint uns nicht statthaft. Und dann fragt sich auch, ob die 81 C. F. *hinreichend* sein werden, selbst wenn ein Behälter von 485 Millionen C. F. in der Nähe der Scheitelstrecke hinzukommt. Diese Frage ist sehr wichtig und es ist gewifs nöthig, sie noch näher zu berücksichtigen; um so mehr, als das Wasser im Canal sehr hoch liegt.

B. Rücksichtlich Dessen, was die in den Baien von Limon und Vaca de monte für die Schiffe herzurichtenden Zugänge und Häfen betrifft, verkennt Herr *Garella* Das nicht, was sein Entwurf noch zu wünschen übrig läfst. Er hat diese Lage der Zugangs-Orte nur deshalb angenommen, um

überhaupt eine Grundlage für die Kostenschätzung zu bekommen. Aus Dem, was er von dem Zugange bei Vaça de monte sagt, erhellet, dafs man nicht sicher ist, dort hinreichend tiefes Wasser zu finden. Andrerseits wären genauere Nachrichten von der Beschaffenheit der *Küste* zu wünschen gewesen, an welcher Strömungen und Neigung zu Anschwemmungen sich zu befinden scheinen. Man müfste hier Flotten-Officiere zu der Untersuchung herbeiziehen und die Peilungen machen lassen, die man in dem Entwurfe ganz vermifst.

C. In dem Kostenpunct müssen wir Alles allein auf den Angaben des Herrn *Garella* beruhen lassen. Er hat die Örtlichkeit gesehen und ihre Hülfsmittel zu erfahren gesucht, um zu berechnen, wie sich dort die Kosten der Schleusen, der Erd-Arbeit, des Tunnels u. s. w. zu denen in Europa verhalten dürften; und nur auf seinen Angaben allein beruht in diesem Puncte Alles. Wir sind indessen geneigt zu glauben, dafs für das dortige, fast noch unbewohnte Land, von zweifelhafter Heilsamkeit des Climas, und bei den aufserordentlich starken Regengüssen, die Kosten-Ansätze eher zu niedrig als zu hoch sein dürften.

11.

Art der Ausführung des Werks. Mag das Werk 34⅔ oder 24 Mill. Thaler kosten, so ist es wohl gewifs, dafs in dem dortigen wilden Lande kein Verein von Privatleuten, welcher es auch sein mag, auf seine eigne Gefahr es ausführen wird und kann, wenn er keine weitere Sicherheit bekommt, als den Zoll-Ertrag.

Es scheint, wie auch Herr *Garella* es andeutet, unumgänglich nöthig, dafs entweder die Seemächte, welche unmittelbaren Vortheil von dieser Strafse haben, selbst sie ausführen lassen, oder dafs sie einem Vereine von Privatleuten ihren Schutz gewähren und ihm entweder einen Zuschufs zu den Kosten zahlen, oder ihm gewisse feste Zinsen verbürgen. Hier fragt es sich dann, ob wirklich England, Frankreich, Holland und die Vereinigten Staaten von Nord-America schon darüber einverstanden sind, dafs die Strafse hergestellt werden soll, oder ob man auch nur erst eine Unterhandlung deshalb begonnen habe; selbst nur erst eine Einleitung dazu.

Leider scheint alles dieses nicht der Fall zu sein; vielmehr scheint es, dafs bis jetzt Frankreich allein an den Plan gedacht habe; und zwar ist man bei uns auf denselben wohl dadurch geführt worden, dafs der obengedachte Verein der Herrn *Salomon* versicherte und drucken liefs, man würde,

um von Chagres nach Panama zu gelangen, nur eine Höhe von 35 F. zu übersteigen haben; es würde also ein Schiffahrtscanal einen fast ebenen Boden finden und folglich ohne ungewöhnliche Schwierigkeiten und Kosten ausführbar sein.

Aber grade die Arbeit des Herrn *Garella* hat gezeigt, wie grofs hier der Irrthum sei. Auch denkt der Verein der Herrn *Salomon*, der sich wiederherstellen wollte, nicht mehr daran, nachdem er mit Genehmigung des Ministers der öffentlichen Arbeiten den Entwurf des Herrn *Garella* bei dem Erstatter dieses Berichts gesehen hat. Er begnügt sich jetzt damit, die Aufmerksamkeit der Regierung auf sich gezogen zu haben, und wird nun wahrscheinlich ihre Unterstützung benutzen, um von der Ermächtigung, die er von der Republik Neu-Granada erhalten hat, zu einem andern Zwecke Gebrauch zu machen, nemlich, um von einem Meere zum andern, nicht einen Canal, sondern eine wohlfeile Eisenbahn herzustellen, von der Art, wie man sie in den entlegenen Gegenden der Vereinigten Staaten von America baut.

12.

Ferner nöthige, ergänzende Untersuchungen. Von dem Gesichtspunct ausgehend, den wir als feststehend betrachten: nemlich, dafs die Strafsenverbindung der beiden Meere nicht anders ausführbar sei, als entweder durch die dabei betheiligten Seemächte selbst, oder mit ihrer thätigen und kräftigen Unterstützung, fragt es sich, ob der Entwurf des Herrn *Garella* zur Grundlage der Ausführung des Werks anzunehmen sei.

Dies glauben wir nicht; und auch Herr *Garella* selbst verlangt noch erst nähere Untersuchungen der Linie durch den See *Nicaragua*. Auch dürfte es ferner wohlgethan sein, eben so erst noch die Linien von Tehuantepec nach Guasacoalco und von der Bai San Blas nach der Bai San Miguel näher zu untersuchen. Desgleichen dürfte für die Linie von Panama nach Chagres eine Vervollständigung der Untersuchung des Zuganges bei Vaca de monte und der Speisung des Canals mit Wasser nöthig sein.

Wenn man einigen geschickten Ingenieurs diese Untersuchungen auftrüge, würde man bald erfahren, was von den bisherigen Angaben über jene Gegenstände zu halten sei. Die Höhenmessungen würden berichtigt werden; man würde die Gestalt der Andeskette und die Art wie sie sich übersteigen läfst näher kennen lernen, und man würde erfahren, ob und in wiefern sich Tunnels und die andern grofsen Schwierigkeiten und Kosten vermeiden lassen.

Zwar ist es gewifs, dafs man wohl nirgends eine *kürzere* Strafsenlinie finden wird, als die bei Panama, welche Herr *Garella* vorschlägt, und

dafs die Linien über Nicaragua und Tehuantepec drei bis viermal so lang sein würden; indessen könnte es gleichwohl sein, dafs die letzteren nicht *theurer* wären; wegen der Seen und Flüsse, die dem Canal zu Hülfe kommen. Aufserdem würden diese Linien den Vorzug haben, dafs sie bevölkertere Gegenden durchschneiden, in welchen weniger die Mittel zur Ausführung des Werks fehlen.

13.

Eisenbahnstrafse. Wir kommen hier auf eine Andeutung des Herrn *Garella* im zweiten Abschnitt seiner Schrift, und auf die Absicht, welche der Verein der Herrn *Salomon* zu haben scheint, eine Eisenbahn statt eines Canals herzustellen.

Wir haben berichtet, dafs Herr *Garella* die Eisenbahn *deshalb* verwirft, weil wegen mangelnder Wassertiefe zum Anlanden grofser Schiffe an die Küsten der beiden Meere, für jedes Ufer *zweimal* umgeladen werden müfste. Aber dies ist nur richtig für den *jetzigen* Zustand der Dinge. Wenn man an jedem Ufer einen Hafen herstellte, ganz wie es Herr *Garella* für seinen *Canal* thun will, so wäre für die Eisenbahn an jedem Ufer *nur noch ein* Umladen nöthig.

Dann aber würde die Strafsenverbindung ungemein weniger theuer sein. Der Tunnel wäre keine Schwierigkeit mehr; Chagres und Panama könnten durch Seiten-Arme mit der Strafse in Verbindung gebracht werden; und rechnet man, dafs die etwa 10 Meilen lange Eisenbahn $6\frac{2}{3}$ Millionen Thaler und die beiden Häfen 2 bis $2\frac{2}{3}$ Millionen Thaler kosten würden, so würde das ganze Werk für $9\frac{1}{3}$ Millionen Thaler herzustellen sein.

Dies wären dann nur die Kosten einer nicht ungewöhnlichen Unternehmung; und wenn gleich sich auch dazu noch kein Verein von Privatleuten finden dürfte, der das Werk auf seine Gefahr allein unternähme, so würde es doch wahrscheinlich möglich sein, dasselbe ohne Verzug mit Zuthun der Republik Neu-Granada zu Stande zu bringen, die wohl den Grund und Boden hergeben und auch sonst der Ausführung wahrscheinlich alle mögliche Unterstützung gewähren würde; so wie mit einigen Zuschüssen der betheiligten Seemächte.

Die Ausführung würde noch ferner erleichtert werden, wenn man auf die Weise verführe, wie es der Verein zu beabsichtigen scheint, der an die Stelle des *Salomon*schen treten will; nemlich, erst ein einzelnes Schienenpaar auf harte Längshölzer zu legen. Es würde hierdurch dem Handelsverkehr erst eine theilweise Förderung dargeboten werden und dann für ihn Zeit

gewonnen werden, die wirkliche Verbindung der beiden Meere mittels eines Canals abzuwarten; so wie für die Seemächte Zeit, sich über das gröfsere Werk und ihre Theilnehmer dafür zu verständigen. Man würde auch auf diese Weise erfahren, wie und auf welche Weise sich Arbeiter nach diesem wenig bevölkerten Lande hinziehen und dort erhalten lassen: desgleichen die *wirklichen* Kosten der Bauwerke.

14.

Urtheil der Prüfungs-Commission. In Gemäfsheit der obigen Bemerkungen und in der Voraussetzung, es sei nicht zu fürchten, dafs der Canal, nachdem er gebaut ist, in Folge von Streitigkeiten zwischen den Seemächten in die Gewalt einer von ihnen allein fallen werde, die ihn dann nur zu ihrem eignen Vortheil und zum Schaden der andern benutzen könnte, nachdem sie auch die Obergewalt über das Werk demjenigen Staate entrissen hätte, auf dessen Grund und Boden sich derselbe befindet, ist die Prüfungs-Commission folgender Meinung.

Erstlich. Der Canal für die grofse Seeschiffahrt ist nicht eher auszuführen rathsam, ehe nicht die Europäischen Hauptseemächte und die Vereinigten Staaten von Nord-America übereingekommen sind, ihn entweder selbst oder durch einen Verein von Privatleuten ins Werk richten zu lassen, dem sie Zuschüsse zu den Kosten gewähren, oder einen bestimmten Zins sichern.

Zweitens. Nachdem dies geschehen, würden, ehe man sich über die Richtung des Canals entscheidet, auch noch die Durchgänge bei Tehuantepec, durch den See Nicaragua und zwischen den Baien San Blas und San Miguel durch Sachverständige zu untersuchen sein.

Drittens. Die Arbeit des Herrn *Garella* würde noch von Andern, oder von ihm selbst zu vervollständigen sein, durch nähere Ermittlung der Möglichkeit der Speisung des Canals mit Wasser und durch genaue Untersuchung der Möglichkeit der Herstellung der beiden Anlandeplätze; besonders desjenigen zu Vaca de Monte.

Viertens. Als Anhalt würde den mit den weitern Untersuchungen zu beauftragenden Sachverständigen vorzuschreiben sein, dafs der Canal, in welcher Richtung er auch zu ziehen sein möchte, nur die Maafse des *Caledoni*schen Canals bekommen solle und dafs möglichst Tunnels zu vermeiden seien.

Fünftens. Schiffscapitaine müfsten beauftragt werden, die Küsten der beiden Meere zu untersuchen, um die besten Anlandeplätze zu ermitteln und ihr Gutachten über den Erfolg der Strafsenverbindung der beiden Meere zu

äufsern, so wie über die für den Canal nöthige Tiefe. [Dies würde dann also den Bestimmungen in *Viertens* erst vorhergehen müssen. D. H.]

Sechstens. Endlich würden sich, nachdem eine Prüfungs-Commission über die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen sich ausgesprochen hat, und nachdem man erfahren hat, was die Regierung des dortigen Landes für die Ausführung des Werks zu thun geneigt sei, die oben genannten Hauptseemächte über die Richtung des Canals und die Art seiner Ausführung zu entschliefsen haben.

Über die Eisenbahn ist die Commission der Meinung, dafs sie nicht anders als vortheilhaft sein dürfte; wenn auch nur Anfangs mit einem einzelnen Schienenpaar und so wohlfeil erbaut, als möglich.

Zum Schlufs erklärt die Commission, dafs sie die Arbeiten des Herrn *Garella* für lobenswerth hält. Sie bittet die Regierung, Herrn *Garella* ihre Zufriedenheit zu bezeugen.

Paris den 31. Februar 1845.

Schreiben des Herrn Bailey an Herrn M. Chevalier.

15.

Mein Herr.

Die Einzelheiten, welche mir aus den Arbeiten des Herrn *Garella* über die Art die Land-Enge von Panama zu durchschneiden und über die Herrichtung von Anlande-Stellen in den Baien von Limon und Vaca de Monte zu Gesicht gekommen sind, scheinen mir das Angemessenste, was ich bis jetzt über diesen Gegenstand gesehen habe. Sie sind schätzbar, sowohl durch die Berechnung der Entfernungen, als durch die von einem so ausgezeichneten Ingenieur aufgestellten Kostenschätzungen. Sie werden ohne Zweifel den Plan zu diesem grofsartigen Werke den aufgeklärten Männern in Europa in einem Lichte darstellen, in welchem es bis jetzt noch nicht geschehen war. Mit grofsem Vergnügen habe ich auch gesehen, dafs Herr *Garella* nicht vor dem kühnen Gedanken zurückgewichen ist, einen Tunnel von einer Gröfse machen zu wollen, dafs Schiffe von 1200 Tonnen Ladung ihn durchfahren können; nemlich einen Tunnel von 1421 R. lang und 96 F. hoch. Ich bin um so mehr darüber erfreut, da anzunehmen ist, dafs Das, was bei Panama für ausführbar zu erachten, es auch bei Nicaragua sein werde. Ein Werk wie dieser Canal erfordert natürlich sehr grofse Kosten; auch bin ich über die

angegebene Summe nicht verwundert: aber wenn man erwägt, dafs an diesem Werk eine grofser Theil des Handelsverkehrs der gesammten Erde betheiligt ist, so wird man in den Kosten nur eine Nebenrücksicht finden, und man wird darüber nicht weiter besorgt sein, sobald nur überhaupt die Ausführbarkeit des Werks nachgewiesen ist. Die Wahl der Stelle für den Canal mufs durch Sachverständige geschehen, nachdem man die Ergebnisse aller nöthigen Untersuchungen beisammen haben wird, und es ist wenig zweifelhaft, dafs man nur die Wahl zwischen den drei Linien über Panama, Nicaragua und Tehuantepec haben werde.

Da Sie, wie mir bekannt, bestrebt gewesen sind, Nachrichten über die Örtlichkeiten der Landzunge zu veröffentlichen, und diejenigen über die Örtlichkeit von Panama durch die Untersuchungen des Herrn *Garella* jetzt zur *Zuverlässigkeit* gelangt sind, so glaube ich, wird es Ihnen nicht unangenehm sein, dafs ich Ihnen hier, durch die freundschaftliche Vermittlung des Französischen General-Consuls Herrn *Baradère*, eine genaue Beschreibung der Erdzunge zwischen dem See Nicaragua und dem Stillen Meere mittheile, durch welche Erdzunge man ebenfalls einen Canal für möglich gehalten hat, während nur in dieser Erdzunge die hauptsächlichste Schwierigkeit der Linie über Nicaragua liegt. Die Beschreibung wird zur Grundlage eines Vergleichs der Bauwerke dienen können, die in den Linien über Panama und Nicaragua vorkommen dürften, und folglich auch zur Entscheidung zwischen diesen beiden Linien.

16.

Die Entfernung von dem Meere bis zur Ausmündung des Flusses Las Lajas in den Nicaraguasee, beträgt, mit der Kette gemessen, 6928 R. In gerader Linie, wenn man dieser folgen könnte, würde sie nur 4970 R. sein: indessen läfst sich die krumme Linie, in welcher mit der Kette gemessen wurde, noch um 480 bis 530 R. abkürzen. Die Höhen hat man in 351 Puncten gemessen. Der höchste Punct befindet sich auf einer kleinen, etwas über 26 R. breiten Fläche, La Palma genannt, welche zwei tiefe Schluchten scheidet, die von dort ausgehen. Dieser Punct liegt 597 F. hoch über dem Meere, und 473 F. hoch über dem See, welcher sich also 124 F. hoch über dem Meere befindet. Ich will versuchen, die 6920 R. lange Linie näher zu beschreiben: von dem Los-Lajosflusse ausgehend, um eine nähere Vorstellung von der Gegend zu geben.

Der Flufs ist von 57 bis zu 287 F., im allgemeinen 160 bis 190 F. breit. Von der Ausmündung bis zu dem Orte Paso-Hondo, wo er nicht tief

ist, sind 1330 R. Das Wasser ist von 19 bis zu $6\frac{1}{2}$ F. tief. Der Boden des Flusses besteht aus Schlamm und loser Erde. Man hat ihn an mehreren Stellen untersucht und erst auf 25 und mehrere Fufs tief festen Grund oder Felsen gefunden. Wo der feste Grund $9\frac{1}{2}$ F. tief lag, waren $12\frac{3}{4}$ F. Wasser. Von unterhalb nach oben zu erhebt sich das Ufer links an einigen Stellen 19 bis 29 F. hoch und ist mit mittelmäfsig hohen Bäumen, aber nicht sehr dicht bewachsen. Das andere Ufer ist niedrig und mit hohem aber dünnem Rohr dicht besetzt; so wie mit einigen zerstreuten Bäumen. Wenn dieser Theil des Flusses canalisirt werden kann, wogegen kein Hindernifs zu sein scheint, so würden nur noch 5220 Ruthen Entfernung übrig bleiben.

Oberhalb Paso-Hondo, von dem Flusse, der dort eine Krümme macht, ab- und 85. R weiter gehend, erhebt sich der Boden $6\frac{2}{3}$ F. hoch über den See. 196 R. weiter liegt er 4 F. tiefer als der See. Auf fernere 360 R. liegt er ebenfalls 4 F. tiefer; abermals 138 R. weiter liegt er 1 F. tiefer als der See. In dieser Strecke liegt der Boden, 87 R. lang, $10\frac{2}{3}$ F. hoch über dem See. Geht man abermals 307 R. weiter, so gelangt man nahe an 4 F. unter den See, und nirgends erhebt sich der Boden viel über diese Höhe, so dafs er im Ganzen auf 2416 R. lang von der Ausmündung des Flusses, an einigen Stellen *tiefer* als der See, nirgends aber bedeutend *höher* liegt. Dieser Umstand ist sehr vortheilhaft, da der Canal auf diese ganze Länge sein Wasser aus dem See selbst erhalten könnte.

Von hier an sinkt der Boden nicht mehr *unter* den See hinab, sondern erhebt sich am Ende von weiteren 742 R. allmälig, aber ohne bedeutende einzelne Erhöhungen, $10\frac{1}{2}$ F. über den See, und 109 R. lang nicht über 35 F. hoch. Auf weitere 396 R. steigt der Boden, eben so regelmäfsig, allmälig bis auf 25 F. hoch und auf fernere 525 R. bis auf 56 F. hoch, ohne einzelne Höhen in dieser Strecke. Endlich gelangt man nach weiteren 340 R. bis dahin, wo der Fufs der Cordilleren-Gebirgskette anzunehmen ist. Der Boden ist auch hier noch wenig durchbrochen, aber die Steigung wird jetzt stärker; man gelangt schon bis zu 119 F. hoch über den See. Dieser Punct ist Nro. 143 der Messung und liegt am Rande einer kleinen Ebene bei der Meierei Cebadilla und dem Bach Platanar. Er ist 4408 R. vom See und 2512 R. vom Ufer des Hafens San Juan du Sud entfernt. [S. Taf. X. Band 22. Heft 3. d. J. D. H.] Von Nro. 143 beginnen die Schwierigkeiten für den Canal; denn auf 438 R. erhebt sich der Boden bis zu 158 F. hoch und weiter hin noch steiler, nemlich, 169 R. weiter, bis auf 217 F., 130 R. weiter auf 306 F.,

92 R. weiter auf 363 F. hoch. Endlich, noch 42 R. weiter, gelangt man auf die *Wasserscheide* bei La Palma, welche, wie oben gesagt, 473 F. hoch über dem See und 597 F. hoch über dem Meere liegt. So steil auch die Steigung in den vier letzten Strecken war, so ist doch jenseits die Herabsenkung noch steiler. Sie beträgt auf die ersten 220 R. schon 319 F., auf weitere 225 R. 103 F. und auf die bis zum Meere noch übrigen 1193 R. 172 F.

Auf die 4264 R. von der Ausmündung des Los Lajosflusses in den See bis zu dem Punct Nro. 143 ist der Boden fast gar nicht mit Bäumen bewachsen und fruchtbar; er wird als Weide für zahlreiche Heerden benutzt. Die Gegend bietet alle Erleichterungen des Baues dar. Kalksteine, Holz u. s. w. sind im Überflufs in der Nähe vorhanden, und eben so verhält es sich auf dem andern Abhange des Bergrückens, besonders in den letzten 1193 Ruthen bis zum Ufer.

Folgendes ist die Zusammenstellung der Längen und Höhen in der beschriebenen Linie.

Vom See Nicaragua ab beträgt

Am Ende der Länge.			Die Höhe über dem See.	Die Höhe über dem Meere.	
von	1330 R.	bis Paso Hondo . . .	0 . . .	124	Fufs,
–	85	– – – – – – . . .	$+6\frac{2}{3}$ . . .	$130\frac{2}{3}$	–
–	196	– – – – – – . . .	—4 . . .	120	–
–	360	– – – – – – . . .	—4 . . .	120	–
–	138	– – – – – – . . .	—1 . . .	123	–
–	307	– – – – – – . . .	—4 . . .	120	–
–	742	– – – – – – . . .	$+10\frac{1}{3}$ . . .	$134\frac{1}{3}$	–
–	396	– – – – – – . . .	+25 . . .	149	–
–	525	– – – – – – . . .	+56 . . .	180	–
–	340	Nro. 143.	+119 . . .	243	–
–	438	– –	+158 . . .	282	–
–	169	– –	+217 . . .	341	–
–	130	– –	+306 . . .	430	–
–	92	– –	+363 . . .	487	–
–	42	Scheitelstrecke	+473 . . .	597	–
–	220	– – – –	+152 . . .	376	–
–	225	– – – –	+ 48 . . .	172	–
–	1193	– – – –	+124 . . .	0	–

Zusammen 6928 Ruthen.

17.

Für den Tunnel ist diese Linie wenigstens eben so günstig, wenn nicht günstiger, als die bei Panama, und für den übrigen Bau wahrschein-

lich eben so vortheilhaft. Für ein so gewagtes und bedeutendes Werk, wie ein Tunnel, ist offenbar die *gerade* Linie die beste. Eine solche, von Nro. 121 bis Nro. 57, ist etwa 511 R. lang. Die gemessene krumme Linie ist in dieser Strecke 659 R. lang. Hier würde der Tunnel 314 F. tief unter der Wasserscheide und 283 F. hoch über dem Meere liegen. In einer andern Linie, von Nro. 125 bis Nro. 57, oder einem andern nahe liegenden Ort, würde der Tunnel 557 R. lang werden; die gemessene krumme Linie ist in dieser Strecke 730 R. lang. Hier würde der Tunnel 322 F. tief unter der Wasserscheide, folglich 275 F. hoch über dem Meere und 151 F. hoch über dem See liegen. Noch vortheilhafter wäre ein Tunnel von Nro. 143 bis Nro. 44, in welcher Strecke die gemessene krumme Linie 1290 R. lang ist und der Tunnel in gerader Linie 934 R. lang sein müfste. Hier würde er 356 F. unter der Wasserscheide, 241 F. über dem Meere und 117 F. hoch über dem See liegen. Zu bemerken ist, dafs Nro. 143. 241 F. und Nro. 44. 201 F. hoch über dem Meere liegt. Der Unterschied von 40 F. giebt also auf 934 R. Länge einen Abhang von 1 auf 280.

18.

Vergleichen wir jetzt die Linien von Panama und von Nicaragua. Der zuletzt bezeichnete 934 R. lange Tunnel ist 486 R. kürzer, als der von Panama: was, die Umstände gleich gesetzt und angenommen, dafs die Auswölbung des Tunnels nicht zu vermeiden sei, eine Ersparung von über 4½ Mill. Thlr. giebt. Da hier die Felsen dem äufsern Anscheine nach aus mittelmäfsig harten Kalksteinen bestehen, so ist übrigens die Wahrscheinlichkeit, dafs die Auswölbung auch wohl zu ersparen sein dürfte, eben so grofs, wie bei Panama. Dann wären die Kosten des Tunnels bei Panama etwa 9½ und bei Nicaragua nahe an 7 Mill. Thlr. Wird der Flufs Las Lajos canalisirt und mittels Durchstiche um 478 R. abgekürzt, so beträgt die ganze Länge des Canals hier 5111 R.

19.

Über die Speisung desjenigen Theils des Canals, hier bei Nicaragua, der sein Wasser nicht aus dem See erhalten kann, ist Folgendes zu bemerken. Von Nro. 23 bis 143, auf 1766 R. lang, folgt die gemessene Linie fast ganz den Thälern der kleinen Bäche La Palma und Platanar, die nie austrocknen. Mehrere andere Wasserläufe ergiefsen sich von beiden Seiten her in diese Bäche, und an mehreren Stellen liefsen sich leicht grofse Behälter bereiten, um die gewöhnlichen Wasser-Ergüsse, so wie die der heftigen

Regengüsse in der Regenzeit aufzufangen, die dann für den Canal vollkommen hinreichend sein würden. Auch würden sich gewifs in einer so bergigen, mit Wäldern und üppigem Pflanzenwuchs bedeckten Gegend an vielen Stellen artesische Brunnen [!!?] machen lassen, die viel beitragen würden, in der trocknen Jahreszeit dem Wassermangel abzuhelfen. Aller dieser Umstände wegen würde die Linie über Nicaragua immer der über Panama wahrscheinlich mit Vortheil gegenüber stehen.

20.

Zu Dem, was schon über die Schiffbarmachung des Flusses San Juan geschrieben worden, will ich nur noch hinzufügen, dafs allein die dazu nöthige Sprengung von Felsen bei den Stromschnellen eine schwierige und viel Kunst erfordernde Arbeit sein würde. Die übrigen Theile des Flusses würden sich durch die gewöhnlichen und bekannten Mittel ordnen und vertiefen lassen. Man würde allerdings auf Schwierigkeiten stofsen; aber nicht von der Art, dafs die heutige Kunst daran zurückschrecken müfste. Der Zweck ist grofs, und an *allen* Stellen, wo man ihn zu erreichen hoffen darf, werden *immer* aufserordentliche Mittel nöthig sein. Man wird diejenige Stelle wählen müssen, wo der Erfolg am *sichersten* ist; und ob einige hunderttausend Thaler mehr oder weniger nöthig sind, ist nur eine Nebenrücksicht.

21.

Ich will noch Einiges über noch eine andere Linie sagen. Sollte man nemlich gegen die oben beschriebene Linie einwenden, dafs, wenn auch der Flufs San Juan für Schiffe von 1200 Tonnen fahrbar gemacht würde, doch immer noch der Tunnel ein zu schwieriges Werk und die Höhe von 473 F. über dem See und 597 F. über dem Meere weder durch Schleusen noch durch tiefe Einschnitte zu überwinden sein dürfte: so bleibt noch Folgendes übrig, um dem Staate Nicaragua die Wasserstrafse zuzuführen.

Mit dem See Nicaragua steht nemlich der See Managua mittels des Flusses Panaloya oder, wie er auch zuweilen heifst, Titipapa, in Verbindung. Derselbe ist $4\frac{1}{4}$ Meilen lang und steht auf etwa $3\frac{1}{4}$ Meilen lang, in ebenem Boden, mit dem See Nicaragua fast gleich hoch. Auf die übrige Meile erhebt sich der Boden um $28\frac{1}{2}$ F. bis zum See Managua. Ich habe diesen Flufs untersucht. Er ist überall viel breiter als zum Canal nöthig, und auf die $3\frac{1}{4}$ Meilen ist er $6\frac{1}{2}$ bis 19 F. tief. Oberhalb eines Orts, Pasquiel genannt, ist sein Bett fast ganz von wenig harten Felsen auf etwa 903 R. lang versperrt. Auf diese Länge, und vielleicht auf die ganze Meile, würde ein

Canal zur Seite nöthig sein. Allem Anscheine nach ist der See Managua eben so tief als der See Nicaragua und von der Mündung des Titipapaflusses bis zu seinem Ende ist er etwa 10 Meilen lang. Von hier ist der Hafen von Realejo in gerader Linie $8\frac{3}{4}$ Meilen entfernt und der See Managua liegt 153 F. hoch über dem Stillen Meere. In dieser Linie befindet sich der Boden zwischen von einander getrennten, durchschnittenen und bergigen Gegenden, ist aber in der Linie selbst so wenig hügelig, dafs man die Linie fast als *stetig fallend* betrachten kann. Ich bedaure, dieses Umstandes nur im Allgemeinen gedenken und diese Richtung nur erst als eine solche bezeichnen zu können, die wenigstens *auch noch* neben den andern in Betracht kommen dürfte. Es fehlt unglücklicherweise noch an jeder Nachricht über diese Richtung, auf welche sich irgend eine Berechnung gründen liefse. Die Gegend hier ist erst oberflächlich untersucht worden; aber deshalb, weil Etwas nur erst auf Vermuthung und allgemeiner Übersicht beruht, ist es immer noch nicht ganz zu übersehen. Es wäre sehr zu wünschen, dafs der Staat von Nicaragua einige Tausend Piaster anwendete, um durch Sachverständige auch diese Linie näher untersuchen und messen zu lassen.

22.

Ich habe Ihnen, mein Herr, die obigen Bemerkungen möglichst deutlich mitgetheilt, und es würde mich sehr freuen, wenn sie die weitere Aufmerksamkeit auf sich zögen und nähere Untersuchungen veranlafsten. Ich wünschte jetzt, wo man ein so grofse Summen erforderndes Werk erwägt, Angaben zu liefern, welche die Wasserstrafse über Nicaragua neben der andern zur Berücksichtigung brächten und vielleicht nachwiesen, dafs jener der Vorzug zukomme. Es ist zu hoffen, dafs, nachdem der grofse Plan dieser Wasserstrafse die Aufmerksamkeit des gesammten Handelsverkehrs auf sich gezogen hat, der so einflufsreiche und einsichtige handeltreibende Theil der civilisirten Völker nicht ungern Nachrichten aufnehmen werde, die vielleicht ebenfalls Einiges zu der Entscheidung über die Art beitragen können, wo und wie mit den geringsten Schwierigkeiten ein Werk ausführbar sein dürfte, dessen Gröfse und Kühnheit in der Geschichte der Baukunst fast ohne Gleichen ist.

Guatemala den 6. Mai 1846.

Bemerkungen über den vorstehenden Brief des Herrn *Bailey*.

Von *Napoléon Garella*, Ober-Berg-Ingenieur.

23.

Der obige Brief des Herrn ***Bailey*** fügt zu Dem, was schon von seinen Untersuchungen der Gebirgskette zwischen dem See Nicaragua und dem Stillen Meere bekannt geworden ist, blofs einige Einzelheiten hinzu. Er schlägt, wie es schon Herr *Stephens* auf den Grund der ***Bailey***schen Angaben gethan hatte, *einen Canal mit Scheitelstrecke* vor; nur mit dem Unterschiede, dafs die Scheitelstrecke 118 F. hoch über dem See liegen soll, statt 72 F. hoch, nach *Stephens*, und dafs sie durch einen 933 R. langen Tunnel gehen soll, statt 1274 R. lang, nach *Stephens*. Daraus, dafs der 933 R. lange Tunnel um 478 R. kürzer wäre, als der, welchen ich bei Panama vorgeschlagen habe, schliefst Herr ***Bailey***, dafs der Canal bei Nicaragua $4\frac{1}{2}$ Millionen Thaler weniger kosten werde, als der bei Panama, und also diesem vorzuziehen sei. Dieser Schlufs scheint mir nicht hinreichend begründet.

Was einen unterirdischen Canal bedenklich macht, ist der Tunnel *selbst*, nebst dem nöthigen, ungewöhnlich grofsen, besonders hohen Querschnitte; nicht seine Länge. Gestattet man einmal einen Tunnel, so kommt seine gröfsere oder geringere ***Länge***, weder bei der Ausführung, noch für die Schiffahrt sehr in Betracht. Der Unterschied der Kosten aber ist, wie Herr ***Bailey*** ganz richtig sagt, bei einem so grofsen Unternehmen, für so umfassende Zwecke, nur eine Neben-Rücksicht. Hier würde die Ersparung auf die Schiffbarmachung des San Juanflusses, auf die beiden Anlandehäfen und, weil hier 52 Schleusen, bei Panama nur 36 nöthig sind, reichlich wieder aufgehen.

Dazu kommt, dafs die Linie bei Nicaragua 39 Meilen, die bei Panama nur 10 Meilen lang sein würde, und dafs der Hafen San Juan, was man auch daran wenden möchte, nie so gut werden würde, als der, welchen ich in der Limonbai, nahe bei Chagres, vorgeschlagen habe; während der Hafen von San Juan du Sud am Stillen Meere offen und häufig Orkanen ausgesetzt, also auch viel weniger sicher sein würde, als der, welcher sich in der kleinen Bai Vaca de Monte, in der Bucht von Panama, in geringer Entfernung von den Inseln Taboga und Taboguilla herrichten läfst und in welchem grofse Schiffe nahe bei Panama einen trefflichen Ankerplatz in 48 bis 57 F. tiefem Wasser finden würden.

Endlich scheinen die Mittel zur *Speisung* des Canals mit Wasser, welche Herr *Bailey* vorschlägt, durchaus unzureichend. Da man schon daran gezweifelt hat, ob 81 C. F. Wasser in der Secunde, aus dem Chagresflusse genommen, zur Speisung des Canals von Panama hinreichen dürften: was soll man erst von der Speisung des Canals von Nicaragua sagen, die ganz auf den Zufluſs von kleinen Bächen beruhen würde, welche nach der Beschaffenheit der Gegend nicht viel mehr als 3 bis $3\frac{1}{2}$ Meilen lang sein können, und die in einem Lande, wo Regen und Dürre sehr regelmäfsig abwechseln, in gewissen Jahreszeiten fast austrocknen müssen. Bei Panama würde ein grofser Wasserbehälter nur ein Nebenhülfsmittel sein: bei Nicaragua würde die Speisung des Canals fast allein auf Behältern beruhen.

Aus allen diesen Gründen nehme ich keinen Anstand zu sagen, dafs der Canal bei Nicaragua, so wie Herr *Bailey* ihn vorgeschlagen hat, unbedingt *weniger* rathsam sein würde, als der bei Panama: wegen seiner grofsen Länge, wegen der Unzuverlässigkeit seiner Speisung mit Wasser und weil seine Anlandehäfen weniger gut wären. Er würde keinen weitern Vorzug haben, als dafs man mit einem etwas kürzern Tunnel und *vielleicht* mit etwas weniger Anlagekosten auskäme.

24.

Sollte die Linie bei Nicaragua gegen die bei Panama in Betracht kommen, so müfste sie wenigstens *einen* entschiedenen Vorzug vor derselben haben: nemlich den der sichern Speisung des Canals mit Wasser, der erlangt werden würde, wenn man den höchsten Theil des Canalbodens bis unter die Wasserfläche des Sees hinabsenkte. Ich hatte vermuthet, dafs dazu ein 1327 R. langer Tunnel nöthig sein würde. Zeichnet man den Längsdurchschnitt der Linie nach den Höhen- und Längen-Angaben des Herrn *Bailey*, so läfst sich die nöthige Länge des Tunnels etwas näher schätzen. Sie würde etwa 1195 R. betragen. Läfst Dies sich ausführen, so würde allerdings die Linie über Nicaragua vor der über Panama wenigstens *einen* entschiedenen Vorzug haben, und es würde näher zu erwägen sein, ob dieser Vorzug durch jene andern, oben bezeichnete Nachtheile aufgewogen werde.

25.

Aber der Brief des Herrn *Bailey* berührt noch einen andern, sehr wichtigen Umstand, nemlich den, dafs man vielleicht von dem See Managua nach dem Hafen von Realejo gehen könne. Alle Reisenden in jener Gegend schildern die Landzunge dort als *sehr* niedrig. Ihre Versicherungen, denen

sonst, nach dem vielen Irrthümlichen, was über America erzählt worden ist, nicht eben viel Gewicht beizulegen wäre, werden hier durch Herrn *Bailey* bestätigt, und seine Aussage, obgleich nur auf blofse Anschauungen und nicht auf Messungen gegründet, hat immer Gewicht, da Herr *Bailey* mit der Nivellirkunst bekannt ist und die Linie bei Nicaragua nivellirt hat. Dafs der Boden zwischen Leon und Realejo wirklich ganz tief sich hinabsenke, wird auch noch durch die Beschreibung von Mittel-America wahrscheinlicher, indem nach derselben die Bergkette, welche die Cordilleren der beiden America *verbindet*, nemlich die Andes von Süd-America mit der Felsgebirgskette von Nord-America, nicht zwischen den Seen und dem *Stillen* Meere [man sehe Taf. X. Bd. 22. Heft. 3. d. J. D. H.], sondern, viel höher und weiter östlich, zwischen denselben und dem *Atlantischen* Meere hindurchgeht, wo sie den Flufs San Juan schneidet und in demselben die Wasserfälle hervorbringt, welche die Schiffahrt dort beschwerlich machen. Es wäre nicht unmöglich, dafs in dieser Gegend, mit noch thätigen Vulcanen, der ursprüngliche und natürliche Abflufs der Seen nach dem Stillen Meere durch eine grofse Umwälzung von dort weggelenkt und dafs durch den Durchbruch der eigentlichen Bergkette den Seen der andere *jetzige* Abflufs nach dem Atlantische Meere geöffnet worden sei. So könnte es denn sehr wohl sein, dafs es jetzt, am entferntesten von der Bergkette, zwischen Leon und Realejo, wirklich eine *sehr* niedrige Stelle der Landzunge gäbe.

26.

Dies wäre in dem Staate Nicaragua näher zu untersuchen, und wenn es sich wirklich fände, dafs sich aus dem See von Leon [soll wohl heifsen Managua] nach dem Stillen Meere ein *offener* Canal ziehen lasse, sollte er auch [stellenweise] 100 bis 130 F. tief sein müssen, so würde, wie ich schon anderswo gesagt habe, die Verbindungsstrafse der beiden Meere *hier* ihre angemessenste Stelle finden. Zwar wäre dann die Fahrt von einem Meere zum andern hin 66 Meilen lang, allein dieser Übelstand würde durch eine *sichere* Speisung des Canals mit Wasser aus den grofsen Seen aufgewogen, und auf diesen Seen könnte man die Schiffe, 32 Meilen weit, durch Dampfschiffe fortziehen lassen; was in einem engen Canale nicht wohl angeht. [Herr *Garella* giebt hier den Vorzug der Linie wohl ein wenig zu schnell zu. D. H.]

Es kommt noch hinzu, dafs nach der richtigen Bemerkung des Herrn *Bailey* der Flufs Titipapa unterhalb nach dem Leonsee hin, wo er wenig Gefälle hat, sich canalisiren lassen würde, während man die ganzen 29 F.

Gefälle zwischen den beiden Seen auf Schleusen in einen Seitencanal oberhalb von 2100 bis 2600 R. lang vertheilte, so dafs dann der Canal *überall offen* sein würde. Der Hafen von Realejo, am Stillen Meere, in welchen der Canal ausmünden würde, ist nach den Berichten aller Seefahrer grofs und sicher. Auch die Officiere der Kriegscorvette La Boussole, von Realejo kommend, die ich in Panama gesehen habe, versicherten mich dessen.

Zusammengenommen ist meine Meinung, dafs, *wenn* sich wirklich ein *überall oben offener, aus den Seen gespeiseter und in den Hafen von Realejo ausmündender Canal* ausführen läfst, die Linie über Nicaragua den Vorzug haben würde. Ist aber ein Tunnel nöthig, und kann man nur nach der unvortheilhaften Anlandestelle von Papayago oberhalb Realejo gelangen, so dürfte es erst noch, selbst dann, wenn die Speisung des Canals aus den grofsen Seen möglich ist, darauf ankommen, die Vortheile und Nachtheile dieser Linie gegen die der Linie von Panama abzuwägen.

Paris, den 10. Septbr. 1846.

Bemerkungen des Herausgebers dieses Journals.

27.

Wir wollen hier nichts weiter darüber sagen, auf welche Weise und durch Wen die Strafsenverbindung der beiden Meere auszuführen sei: ob durch die betheiligten Regierungen, oder durch einen Verein von Privatleuten, oder durch eine Vereinigung von beiden. Darüber läfst sich doch nichts Sicheres äufsern, um so weniger, als dieser Frage doch eigentlich erst die technische Frage vorhergeht, wo und wie die Strafse herzustellen *möglich* und *rathsam* sei: ob ein Canal oder eine Eisenbahn auszuführen sei und was das Eine und das Andere kosten werde. Von dem technischen Ergebnifs hangt es erst ab, ob und wie überhaupt der Plan der Strafsenverbindung weiter zu verfolgen sei.

Die erste Frage ist: ob und wie eine *Wasserstrafse* möglich sein werde.

28.

Für die Wasserstrafse ist es zunächst, und zwar grade hier, in dem entfernten, fast noch wilden Lande, ein *oberstes Haupt-Erfordernifs,* dafs sie *ohne Unterbrechung fahrbar* sei. Schon für die Canäle in Europa ist dies ein Haupt-Erfordernifs; jedoch hilft man sich in dicht bewohnten Ländern allenfalls noch durch Weiterschaffung der Frachten zu Lande, wenn etwa die Fahrt auf dem Canal unterbrochen wird. Dort hingegen, in der öden Gegend, fällt dieses Hülfsmittel weg, wenn man nicht etwa eine Eisenbahn neben dem Canal bauen will; was denn aber doch zu viel wäre. Wird dort einmal der Canal unfahrbar, so müfsten die Schiffe und die Frachten grade zu liegen bleiben und die Wiederherstellung der Fahrbarkeit der Wasserstrafse abwarten. Dies aber würde sehr bald den Zug des Handels, wenn er sich auch Anfangs nach der neuen Strafse hingelenkt hätte, von dort wieder vertreiben; die Schiffe würden bald wieder die alten, wenn auch längeren Wege über das offene Meer einschlagen; der Canal würde unbenutzt bleiben und alle die Millionen, welche er gekostet hätte, wären *verloren.*

29.

Nun kann die Wasserstrafse hier durch *drei* Umstände zeitweilig unfahrbar werden, nemlich:

Erstlich. Wenn es dem Canal kürzere oder längere Zeit an Wasser fehlt.

Zweitens. Wenn, falls er Schleusen hat, dieselben ausgebessert, oder neu-, oder umgebauet, also gesperrt werden müssen.

Drittens. Wenn, falls die Wasserstrafse theilweise auf Flüssen oder Strömen sich befindet, diese etwa durch starke Fluthen, die in der dortigen Gegend wegen der ungemein heftigen Regengüsse gewifs öfter vorkommen, in ihrem Laufe plötzlich so verändert werden, dafs ihre Fahrbarkeit nicht schnell genug sich herstellen läfst.

30.

Dafs der erste Umstand, nemlich, dafs es dem Canal zeitweilig an Wasser fehlen dürfte, sowohl in der von Herrn *Garella* vorgeschlagenen Linie, als in der Linie über Nicaragua, für die Strecke von dem Leonsee nach dem Hafen von San Juan de Sud (und andere als diese beiden Linien kommen bis jetzt mit irgend einiger *Sicherheit* nicht in Betracht) wirklich zu befürchten sei, ist nach der Darstellung hier oben nur allzu wahrscheinlich. Auch die Commission, welche den *Garella*schen Entwurf geprüft hat, theilt die Befürchtung für diesen Entwurf und Herr *Garella* hegt sie für die andere Linie. In der That: da Herr *Garella* das Wasser für die Scheitelstrecke des Canals, in Gräben, ***5 bis 8 Meilen weit*** herbeiholen will, wäre es nicht unmöglich, dafs in der heifsen, trocknen Jahreszeit kein Tropfen Wasser durch die Zuleitungsgräben in den Canal gelangte, sondern theils verdunstete, theils in den Boden versiegte. Es giebt ja selbst grofse Flüsse und Ströme, die sich in ihrem Laufe in den Boden verlieren. Dem grofsen Vorrathsbehälter könnte es leicht ähnlich ergehen.

Das Bedenken, dafs es dem Canal zeitweilig an Wasser fehlen könne, ist nun aber *hier*, aus den in (§. 28.) benannten Gründen, schon so überaus wichtig und entscheidend, dafs sich schon deshalb kurz und mit Bestimmtheit sagen läfst: es sei rathsam und wohlgethan, auf *jeden* Canal, in dieser oder jener Richtung, er sei theuer oder wohlfeil, für welchen nicht die *vollkommenste* Sicherheit vorhanden ist, dafs es ihm *nie* und unter keinen Umständen *an Wasser fehlen könne* und werde (und diese Sicherheit fehlt bis jetzt durchaus für die beiden Linien bei Panama und über Nicaragua), *unbedingt und gänzlich zu verzichten.* Das Wagnifs wäre, selbst für den dortigen *grofsen* Zweck, *zu grofs;* denn es könnte kommen, dafs der ***Zweck*** des Canals selbst gar nicht erreicht würde, und dafs also das Geld, was man daran gewendet hätte, *verloren* ginge.

31.

Sollte sich die in dem Briefe des Herrn *Bailey* aufgestellte Vermuthung bestätigen, dafs sich aus dem See Managua nach dem Hafen von Realejo ein Canal herstellen lasse, der *ohne* Scheitelstrecke, blofs nach dem Meere hin fallend, *aus dem See* gespeiset würde, so wäre für *diese* Linie der *erste* der drei Umstände, welche die Wasserstrafse unbrauchbar machen kann, nicht vorhanden: denn der See Managua ist so grofs, dafs es dem Canal hier *gewifs* nie an Wasser fehlen würde.

Aber damit ist nicht Alles abgethan, und die Möglichkeit und Rathsamkeit der Wasserstrafse, auch hier in dieser Linie, ist noch keineswegs erwiesen. Denn es bleiben auch hier noch die *beiden andern* Umstände, durch welche die Wasserstrafse unbrauchbar werden kann: nemlich, dafs wegen nöthiger Ausbesserungen an den *Schleusen* der Canal zeitweilig gesperrt werden mufs, und dafs der *Flufs San Juan* nur mit Unterbrechungen fahrbar sein kann.

Das Letztere ist nur zu leicht *möglich;* die Unterbrechung der Fahrbarkeit des Canals durch den Bau an den Schleusen aber ist *unvermeidlich* und *gewifs,* man müfste denn überall statt einer Schleuse deren zwei neben einander bauen wollen; was denn doch aber wohl gar zu kostbar wäre und dennoch die Gefahr nicht *ganz* heben würde. Die Unterbrechung der Fahrbarkeit der Wasserstrafse zur Herstellung von Schleusen ist aber hier in dem öden Lande *viel* übler und würde viel länger währen, als in Europa. Zur Herstellung des Schadens an einer *Eisenbahn* könnte man dort Alles Nöthige so in *Vorrath* halten, dafs die Ausbesserung schnell möglich wäre: aber zu einem Canal kann man nicht Schleusen in Vorrath haben; wahrscheinlich nicht einmal schnell genug die Arbeiter zur *schleunigen* Herstellung bekommen.

Es läfst sich also weiter *mit Bestimmtheit* sagen, dafs auch eine Wasserstrafse mit *Schleusen* überhaupt, selbst wenn man auch sicher ist, dafs es ihr niemals an Wasser fehlen werde, und noch mehr, wenn sie zum Theil auf einem Flusse sich befindet, kaum *jemals* rathsam sein dürfte; denn sie würde immer wieder der Gefahr ausgesetzt sein, dafs durch die Unterbrechungen der Fahrt die Schiffe davon abgeschreckt würden, dafs die Strafse ihren Zweck gar nicht erreiche und das daran gewendete Geld *verloren* gehe.

32.

Wir gelangen durch diese, wie es scheint wohl begründeten Erwägungen zu dem Schlufs, dafs überhaupt eine *Wasserstrafse hier nur allein dann* rathsam sei, wenn es möglich ist, *sie von einem Meere zum andern, ohne*

einen Flufs zu Hülfe zu nehmen und ohne Schleusen, herzustellen; denn nur allein dann würden die obigen Bedenken *alle drei vollständig gehoben* sein, und eine solche Wasserstrafse wäre in der That ein in seiner Art *vollkommenes* Werk.

Beim ersten Anblick scheint die Herstellung einer *solchen* Wasserstrafse *unmöglich:* aber das ist es eben, weshalb wirkliche *Messungen* so wichtig und zu einem sichern Urtheil so unumgänglich nöthig sind. Sie ergeben nicht selten, dafs Das was für möglich und leicht gehalten wurde es nicht ist, und dafs dagegen Das was unmöglich schien es doch noch nicht so ganz sei. Recht eigentlich verhält es sich so *hier in diesem Falle.* Die von Herrn *Garella* entworfene Wasserstrafse, mit Schleusen und einer Scheitelstrecke, ist zuverlässig und unbedingt *nicht* rathsam; aus den obigen Gründen: ein Canal dagegen, etwa in der Linie des Herrn *Garella,* von einem Meere zum andern, ohne Schleusen und Scheitelstrecke, ist nach den vorliegenden Messungen wenigstens noch nicht so völlig unmöglich, dafs daran gar nicht weiter zu denken wäre. Wir werden Dies, in so weit es aus den vorliegenden Angaben thunlich ist, etwas näher erörtern.

Es kommt nemlich bei der Frage zunächst auf die *Kosten* an. Sind dieselben nicht *gar zu hoch*, so ist gar keine bessere Wasserstrafse mehr möglich, noch auch zu wünschen; denn sie würde ohne alle *Unterbrechung stets fahrbar* sein. Auch würde man noch kaum eine andere *Durchgangsstelle* durch die Land-Enge zu suchen nöthig haben, weil die Land-Enge hier am *schmalsten* ist, und es nach Herrn *Garella* scheint, dafs an den Mündungen zureichende Anlandehäfen sich herstellen lassen.

Wir wollen also versuchen die Kosten, vergleichsweise gegen die des *Garella*schen Canals, so gut es nach den vorhandenen Angaben möglich ist, zu *schätzen.*

33.

Zunächst ist es offenbar, dafs durch den Bergrücken von Ahoyagegua ein *Tunnel* unvermeidlich nothwendig sein würde. Für den Augenblick aber auch angenommen, dafs man dem Tunnel einen so grofsen Querschnitt geben wolle, wie Herr *Garella,* ist es doch sicher, dafs die Kosten des Tunnels auf dieselbe Länge so ziemlich *dieselben* sein würden, der *Boden* des Tunnels möge *so hoch* gelegt werden, wie Herr *Garella* es will, oder 173 F. tiefer, bis unter die Ebbelinie der Meere. Blofs etwas *länger* würde er nöthig sein, und zwar, wie aus der Zeichnung des Längsdurchschnitts zu sehen,

etwa um die Länge der *tiefen Einschnitte*, welche Herr *Garella* an den Eingängen machen will, also statt 1420 R. etwa 2052 R. lang.

Die Kosten des Tunnels, von 6732 Thlr. für die laufende Ruthe, welche Herr *Garella* in seiner Rechnung annimmt, werden nun zwar schwerlich hinreichend sein: denn z. B. in Frankreich hat der Tunnel von Lioran, welcher 341 R. lang ist, etwa 340 Q. F. Querschnitt, keine senkrechten Schachte hat und nur zum Theil ausgemauert ist, etwa 1000 Thlr. auf die laufende Ruthe gekostet; in England hat der 321 R. lange Tunnel von Blechingley, von etwa 430 Q. F. Querschnitt, mit senkrechten Schachten und ganz ausgemauert, 1978 Thlr. und der 231 R. lange Tunnel von Saltwood, eben so, etwa 3248 Thlr. auf die laufende Ruthe gekostet: also wird der *Garella*sche Tunnel von 118 F. Höhe (die Breite findet sich nicht angegeben, mufs aber doch wenigstens 48 F. sein, so dafs der Tunnel über 4000 Q. F. Querschnitt haben würde) schwerlich, auch *ohne* Ausmauerung, für 6732 Thlr. die laufende Ruthe sich herstellen lassen. Es würde dies wohl selbst in Europa nicht möglich sein; viel weniger dort in der entfernten Gegend. Da indessen hier überhaupt nur eine ungefähre *Vergleichung* der Kosten des Canals *ohne* Schleusen mit denen des *Garella*schen Canals möglich ist, so müssen wir die von Herrn *Garella* angesetzten Kosten von 6732 Thlr. für die laufende Ruthe Tunnel beibehalten und also für die obigen 2052 R. Tunnel 13 816 064 Thlr. ansetzen.

34.

Es kommt weiter auf die Kosten des übrigen 18 245 R. langen Theils des Canals an.

Hier zeigt der blofse Anblick des Längsdurchschnitts, dafs der Boden zu beiden Seiten des Bergrückens sich schnell und tief hinabsenkt. Selbst keine einzige der Boden-Erhebungen, die sich in der Zeichnung als kleine Spitzen zeigen, erreicht mehr die Höhe des *Bodens* des von Herrn *Garella* entworfenen Tunnels; der Boden liegt selbst meistentheils nicht sehr hoch über der in der Zeichnung durch eine wagerechte Linie angegebenen *Fluthhöhe* der Meere. Es ist also, schon dem ersten Anblick nach, gar nicht unwahrscheinlich, dafs zu dem Canal, wenn man seinen Boden bis zu der nöthigen Tiefe unter die *Ebbenlinie* der Meere hinabsenkte, im Ganzen noch keine übermäfsig tiefe Einschnitte nöthig sein würden.

Die Fluth im Stillen Meere steigt nach den Angaben in (§. 2.) 19 F. 5 Z. über die dortige Ebbe und 18 F. 8 Z. über die Fluth im Atlantischen Meere, welche ihrerseits 1 F. 1 Z. bis 1 F. $3\frac{1}{4}$ Zoll über die dortige Ebbe steigt:

Also steigt die Fluth des *Stillen* Meeres über die Ebbe des *Atlantischen* Meeres 19 F. 7 Zoll bis 19 F. 11¼ Z. hoch, und folglich liegt die Ebbelinie beider Meere *ungefähr gleich hoch.*

Zieht man nun die Ebbelinie in dem Längsdurchschnitt etwa 19½ F. tief unter der dortigen Fluthlinie und mifst die Tiefen und Längen nach dem Maafsstabe, so gut es in der kleinen Zeichnung angeht, so findet sich, dafs der Boden von oben bis zur *Ebbelinie,* also bis zur *Wasserlinie im Canal,*

Auf	etwa	1000	R.	lang	120	F. tief,
–	–	1750	–	–	90	– –
–	–	2700	–	–	76	– –
–	–	1670	–	–	50	– –
–	–	4900	–	–	36	– –
–	–	6225	–	–	6	– –
Zusammen		18245	R.	lang.		

eingeschnitten werden müfste. *Unter* der Wasserlinie müfste dann der Canal noch die von Herrn *Garella* verlangte Tiefe von 22 F. 4 Z. bekommen.

Nimmt man den Querschnitt des 22⅓ F. tiefen Canals nach Herrn *Garella* im Boden 64 in der Wasserlinie 144 F. breit an, so sind auf die laufende Ruthe 193½ Sch. R. Aushöhlung nöthig. Dies thut auf 18 245 R. lang 3 530 407 Sch. R. Aushöhlung *unter* der Wasserlinie.

Über der Wasserlinie werden wir, um sicher zu gehen, *2füfsige* Böschungen annehmen; was selbst dann vollkommen hinreichend sein dürfte, wenn man *Ziehpfade* neben dem Canal einrichten wollte. Da aber diese Pfade wohl wegfallen werden, indem man, wegen Mangel an Pferden und Menschen, die Schiffe dort schwerlich anders als durch Dampfboote wird fortziehen lassen können, so werden auch schon 1½füfsige Böschungen völlig genügen, sobald man nur die Böschungen *stufenweise* einrichtet, mit festwurzelnden Pflanzen sie besetzt, die vermöge des dortigen üppigen Wachsthums wohl schnell gedeihen dürften, und durch die bekannten Mittel dafür sorgt, dafs sich starke Fluthen nicht von den Seiten her in den Canal stürzen und die Böschungen zerstören können.

Rechnet man nun nach der obigen Angabe der Länge und Tiefe, so ergiebt sich folgende Masse der nöthigen Aushöhlung:

Über der Wasserlinie.	Für 2füssige Böschungen. Auf die laufende Ruthe.	Für 2füssige Böschungen. Thut	Für 1½ füssige Böschungen. Auf die laufende Ruthe.	Für 1½ füssige Böschungen. Thut
Auf 1000 R. lang und 120 F. tief . .	3840 Sch. R.	3 840 000 Sch. R.	3240 Sch. R.	3 240 000 Sch. R.
- 1750 - - - 90 - - - . .	2430 - -	4 252 500 - -	2092½ - -	3 661 875 - -
- 2700 - - - 76 - - - . .	1874⅔ - -	5 061 600 - -	1634 - -	4 411 800 - -
- 1670 - - - 50 - - - . .	1016⅔ - -	1 697 830 - -	912½ - -	1 523 875 - -
- 4900 - - - 36 - - - . .	648 - -	3 175 200 - -	594 - -	2 910 600 - -
- 6225 - - - 6 - - - . .	78 - -	485 550 - -	76½ - -	476 212 - -
	Thut	18 512 680 Sch. R.	Thut	16 224 362 Sch. R.
Hiezu unter der Wasserlinie				
Die oben bezeichneten		3 530 407 - -		3 530 407 - -
Thut auf 18 245 R. lang . . . . . zusammen		22 043 087 Sch. R.		19 754 769 Sch. R.

Es kommt nun darauf an, auf wieviel diese Aushöhlung, zunächst nicht *wirklich*, sondern *im Vergleich* gegen die Kosten der Arbeiten, welche Herr *Garella* schätzt, anzuschlagen sein würde. Wieviel von der obigen Aushöhlung nicht in Erde, sondern in Felsen nöthig sein werde, läfst sich aus den vorhandenen Angaben nicht sagen. Da indessen, wo Felsen sich finden, auch nur eine sehr geringe Böschung, selbst *unter* der Wasserlinie nöthig ist, so wird es vielleicht nicht sehr gefehlt sein, während man durchweg auf *Erde* rechnet, die jedenfalls *nicht* nöthigen 2füfsigen Böschungen und den in (§. 5. 2.) von Herrn *Garella* angesetzten Preis von 1 Thlr. 11½ Sgr. für die Sch. R. anzunehmen. Dies thut für die 22 043 087 Sch. R. 30 309 245 Thlr., und davon bleibt dann über die 27 162 808 Thlr., welche die zu den wirklich nur nöthigen 1½ füfsigen Böschungen erforderlichen 19 754 769 Sch. R. kosten würden, für die Aushöhlungen in *Felsen* noch einen Zuschufs von über 3 Mill. Thlr.

Von den Flüssen, welche der Canal zu durchschneiden haben würde und deren natürlich keiner *tiefer* liegen kann als der Canal, müfste man, insofern sie sich nicht seitwärts ableiten lassen, den obern Theil mit der gehörigen Vorsicht *in den Canal* leiten, den untern Theil aber abdämmen und ihm weiter seinen Lauf lassen. Auch dem Chagresflufs, den der Canal zu durchschneiden haben würde, müfste der Canal offen stehen; aber ohne diesen Flufs unterhalb abzudämmen, weil er von da, wo ihn der Canal trifft, bis zum Meere nur noch sehr wenig Gefälle hat. Der Canal wäre also nirgends *über* Brücken zu führen, und Brücken *über den Canal* dürften wohl hier so bald noch nicht nöthig sein. Also wären blofs die Vorkehrungen bei der Hineinleitung der Flüsse in den Canal nöthig, die wohl nicht *mehr* kosten würden, als die *ähnlichen* Nebenbauwerke zum *Garella*schen Canal.

35.

Zusammen also würde die obige ***Schätzung*** der Kosten des Canals *ohne* Schleusen Folgendes ergeben.

1.	Für 2052 R. Tunnel, zu 6732 Thlr. (§. 33.), . . .	13 816 064 Thlr.
2.	Für die Aushöhlung des übrigen Canals (§. 34.) . .	30 309 245 –
3.	Für den Hafen in der Limonbai, nach (§. 5. 8.), .	2 422 680 –
4.	Für den Hafen zu Vaca de Monte, nach (§. 5. 9.), .	1 654 905 –
5.	Für Unvorhergesehenes (§. 5. 10.)	1 130 439 –
	Zusammen	49 333 333 Thlr.

Herr ***Garella*** berechnet nun freilich nur $33\frac{1}{3}$ Mill. Thlr., aber, ohne noch etwas gegen seine ***Preise*** einzuwenden, ist doch ein anderer seiner Ansätze zuverläfsig *viel* zu gering. Er setzt nemlich für die ***Erhaltung*** und ***Verwaltung*** des Canals 133 333 Thlr. (500 000 Frs.) *jährlich* an, also nur $\frac{2}{3}$ vom Hundert oder 4 vom Tausend der Anlagekosten. Hiervon möchte wohl Das, was die Kosten der Verwaltung übrig lassen, kaum zur Erhaltung und Baggerung der Häfen und zur Erhaltung der Wasserzuleitung hinreichen, und zu den Schleusen etc. dürfte wohl *nichts* übrig bleiben. Für Schleusen und Nebenbauwerke sind etwa 6 Mill. Thlr. angesetzt und zur Erhaltung dieser Bauwerke möchten wohl mindestens noch aufserdem 200 bis 250 Tausend Thlr. jährlich nöthig sein, was ein Capital von 4 bis 5 Mill. Thlr. ausmacht, so dafs also zu dem *Garella*schen Canal nicht $33\frac{1}{3}$, sondern wohl nahe an 38 Mill. Thlr. anzusetzen sein dürften, was etwa 77 v. H. der obigen $49\frac{1}{3}$ Mill. Thlr. ist.

36.

Das Verhältnifs würde ungefähr dasselbe bleiben, wenn man dem Canal nur für Schiffe von 600 Tonnen, statt 1200 Tonnen, die Gröfse des *Caledoni*schen Canals gäbe, von 52 F. Breite im Boden, 120 F. Breite in der Wasserlinie und $19\frac{1}{2}$ F. Tiefe. Die Kostenschätzung, *verhältnifsmäfsig* nach der obigen angestellt, würde in diesem Falle folgende sein.

1.	Für 2052 R. Tunnel, zu 4000 Thlr., ...	8 208 000 Thlr.
2.	Für 19 512 518 Sch. R. Aushöhlung, zu 1 Thlr. $11\frac{1}{4}$ Sgr.,	26 829 712 –
3.	Für den Hafen von Limon, wie oben, ...	2 422 680 –
4.	Für den Hafen zu Vaca de Monte, desgleichen, . .	1 654 905 –
5.	Für Unvorhergesehenes	884 703 –
	Zusammen	40 000 000 Thlr.

Herr ***Garella*** setzt für diesen Fall 24 Mill. Thlr. an, wozu aber aus dem obigen Grunde gewifs immer noch wenigstens 4 Mill. Thlr. zugelegt werden

müssen, so dafs 28 Mill. Thlr. herauskommen; was 70 v. H. der obigen 40 Mill. Thlr. ausmacht.

37.

Nach diesen Schätzungen ist zu *vermuthen*, dafs ein Canal *ohne Schleusen* bei Panama wohl nicht über *Einviertheil*, höchstens *Eindrittel mehr* kosten würde, als ein Canal *mit Schleusen*, vielleicht in *irgend einer* Linie. Daraus folgt dann, dafs der Canal *ohne* Schleusen durchaus nicht *so ganz* unberücksichtigt bleiben dürfe. Denn ein solcher Canal wäre, wie schon gesagt, etwas in seiner Art *Vollkommenes;* jeder Canal dagegen, *mit* Schleusen und vielleicht zum Theil mit Hülfe von *Flüssen*, wäre *jedenfalls* etwas *sehr Unvollkommenes* und *sehr Mifsliches*, und es ist offenbar besser, falls es überhaupt thunlich ist, *grofse* Summen hier anzulegen, lieber 50 Mill. anzuwenden, um den Zweck *sicher* zu erreichen, und mit vielleicht etwas geringern Zinsen sich zu begnügen, als 38 Mill. Thlr. auf die Gefahr, *gar nichts* einzunehmen und das Geld *ganz zu verlieren*.

Hieraus folgt, dafs Das, was zunächst zu thun sein dürfte, darin besteht, *näher* ausmessen zu lassen, wie es sich mit einem Canal *ohne* Schleusen *bei Panama* verhalten dürfte und wie viel derselbe, von dieser oder jener Gröfse, wirklich kosten werde. Diese Ausmittelung ist *wenigstens* eben so nöthig und eigentlich noch *nöthiger* als das Aufsuchen von andern Linien: denn an *keiner andern Stelle*, als bei Panama, ist *ohne Zweifel* eine Wasserstrafse *ohne* Schleusen und ohne Hülfe von *Flüssen möglich*. Jeder Canal *mit* Schleusen und mit Hülfe von *Flüssen* ist aber unbedingt zu widerrathen.

Dies ist einer der *Hauptpuncte*, welche bei diesem Gegenstande noch nicht berücksichtigt zu sein scheinen, der aber *besonders* zu erwägen nöthig sein dürfte.

38.

Findet es sich, dafs ein Canal *ohne Schleusen*, von der Gröfse des *Garella*schen, oder auch nur des *Caledoni*schen, und überhaupt so weit und grofs, dafs Indien- und Chinafahrer *ohne umzuladen* ihn benutzen können, so grofse Summen kosten würde, dafs der Ertrag die Zinsen und die Tilgung derselben, nebst den Kosten der Erhaltung und Verwaltung nicht decken dürfte, so bliebe noch übrig, einen *kleinen* Canal *ohne* Schleusen für *kleinere* Schiffe, etwa *Dampfschiffe*, zur Fortschaffung der Frachten durch die Land-Enge zu machen. Allein auch dieser Canal würde gewifs immer noch sehr theuer sein, da entweder die tiefen Einschnitte, wenn auch weniger *breit*, bleiben

würden, oder mehr Tunnels gemacht werden müfsten. Also würde in dem Fall des obigen Ergebnisses, und überhaupt sobald die Schiffe *umladen* müssen, eine Wasserstrafse *gar nicht mehr* rathsam sein, sondern vielmehr *mit Bestimmtheit* eine *Eisenbahn;* aber keinesweges eine sogenannte *wohlfeile* Eisenbahn, mit dünnen Schienen auf Längshölzern, sondern vielmehr eine feste, zweispurige Eisenbahn mit starken eisernen Schienen und so gebaut, dafs möglichst wenig *Zugkraft* nöthig ist. Denn es kann leicht sehr unrichtig sein, dafs man durch die sogenannte wohlfeile Eisenbahn wirklich eine Ersparung erziele. Was eine Eisenbahn theuer macht, sind keinesweges insbesondere die *Schienen,* sondern vielmehr die Erd-Arbeiten zum Damm, die Brücken und andere Nebenbauwerke, und in Europa häufig die ungemein hohen Kosten des Grund- und Bodens. Die Schienen nebst Zubehör kosten auf einer theuern Eisenbahn nicht viel mehr, als auf einer sogenannten wohlfeilen, und auf jener leicht nur einen *kleinen* Theil der Ausgaben. Zwei Paar starke Schienen wiegen auf die laufende Ruthe 6 Ctr. und kosten also etwa 40 Thlr. Dazu 8 Thlr. für hölzerne Quer-Unterlagen und 12 Thlr. für 16 Schienenstühle und Keile thut 60 Thlr. für die laufende Ruthe und 120 000 Thlr. für die Meile; was also, da wo die Meile Eisenbahn eine halbe Million Thaler und mehr kostet, nur ein *kleiner Theil* der Ausgaben ist. Hieraus folgt, dafs bei einer Eisenbahn nicht die *Schienen* es sind, an welchen eine nahmhafte Ersparung möglich ist, sondern vielmehr die Erd-Arbeiten, die Nebenbauwerke etc. Will man aber an *diesen* sparen, so kann es im Allgemeinen nur dadurch geschehen, dafs man der Bahn stärkere *Gefälle* gestattet. Dann ist aber mehr *Zugkraft* nöthig, und die Kosten dieser, da sie für immer währen, als Zinsen zum Capital berechnet, können sehr bald die Ersparung verzehren. Also wäre hier durchaus nicht zu einer wohlfeilen, sondern zu einer festen zweispurigen Eisenbahn zu rathen.

39.

Eine solche Eisenbahn dürfte auch hier an sich selbst ohne allzugrofse Kosten ausführbar sein, und zwar offenbar am wohlfeilsten in der *kürzesten* Linie bei Panama, etwa in der Richtung des *Garella*schen Canals. In jeder andern Linie, besonders über Nicaragua, würde sie *viel* länger und folglich *viel* theurer werden. Der Bergrücken in der Linie bei Panama liegt zwar dem Stillen Meere sehr nahe, aber er dürfte sich doch wohl durch einige Wendungen zur Verlängerung der Linie, wahrscheinlich *ohne* Tunnel, etwa mit Hülfe eines nicht langen tiefen Einschnitts durch den Kamm des Berg-

rückens, übersteigen lassen. In der übrigen Länge dürften wohl keine ungewöhnlich beträchtliche Erd- und Neben-Arbeiten nöthig sein; wenigstens jedenfalls *bei weitem* weniger, als zum Canal. Die Eisenbahn selbst, nebst den nöthigen Fuhrwerken und Maschinen, würde eben nicht theurer zu stehen kommen, als in Europa. Denn die Schienen, Schienenstühle, Keile u. s. w., so wie die Fuhrwerke und Maschinen, sind in *Nord-America* zu haben, von wo sie ja hie und da nach Europa geholt werden; und Panama ist nicht eben weiter entfernt. Bauholz und andre rohe Baustoffe sind dagegen auf der Land-Enge, der Beschreibung nach und wie es sich auch wohl denken läfst, wohlfeil, und der Grund und Boden dürfte wohl beinahe Nichts kosten. Also würde sich eine feste Eisenbahn hier vielleicht für *mäfsige* Kosten, die Meile vielleicht für weniger als eine halbe Million Thaler, mithin die 10 Meilen Strafse für 4 bis 5 Millionen Thaler ausführen lassen; wozu dann noch die von Herrn *Garella* angesetzten etwa 4 Mill. Thlr. zur Herstellung der Anlandehäfen hinzukämen, so dafs überhaupt vielleicht nicht mehr als etwa 10 Mill. Thlr. nöthig wären.

40.

Es wäre dann, nachdem man näher die Kosten der Eisenbahn ermittelt hat, zu berechnen, ob der *Ertrag* von 1 866 666 Thlr. jährlich für 14 Mill. Ctr. Fracht, zu 4 Sgr., auf welche Herr *Garella* in (§. 6.) rechnet, zu den Zinsen und zur allmäligen Tilgung der Anlagekosten, zur Erhaltung und Verwaltung der Bahn und zu den Kosten der *Zugkraft* und des Umladens der Frachten hinreicht. Ist dies der Fall, so würde die Eisenbahn, vorausgesetzt, dafs eine Wasserstrafse *ohne* Schleusen und von der Gröfse, dafs die Schiffe ohne umzuladen sie benutzen können, wegen der zu grofsen Kosten nicht ausführbar sei, vor *jeder andern* Wasserstrafse, welche Schleusen bekommen mufs, und theilweise auf Flüssen, aus vielen Gründen bei weitem den Vorzug haben. Nemlich:

Erstlich würde sie gewifs bei weitem wohlfeiler sein.

Zweitens würde sie mit Sicherheit *ohne alle Unterbrechung* und in dem dortigen Himmelstrich zu *jeder Jahreszeit* fahrbar sein; denn die Beschädigungen, welche die Fahrt unterbrechen möchten, könnten nie sehr bedeutend sein und würden sich immer schnell herstellen lassen, weil Alles was dazu nöthig ist, an Schienen, Fuhrwerken u. s. w. in *Vorrath* gehalten werden kann. Bei den Brücken müfste man natürlich dafür sorgen, dafs für den Fall von Schäden an denselben ein einstweiliger Übergang nebenbei leicht einzu-

richten ist. Bei einer Wasserstrafse hingegen, mit Schleusen und auf Flüssen, würden, wie schon oben angedeutet, immerwährende Unterbrechungen der Fahrt unvermeidlich sein.

Drittens würde auch die Instand-Erhaltung der Eisenbahn offenbar viel weniger kosten, als die der Wasserstrafse mit Schleusen und auf Flüssen.

Viertens würde die Fahrt auf der Eisenbahn gewifs nur so viel ***Stunden*** Zeit erfordern, als die auf der Wasserstrafse, auch wenn keine Unterbrechung Statt findet, ***Tage***.

Fünftens, und dies ist auch noch ein Hauptpunct, den man vielleicht noch nicht genug in Betracht gezogen hat, würde es wahrscheinlich, selbst wenn man die hohen Kosten nicht schenen darf, kaum möglich sein, eine Wasserstrafse anders als erst in einer ***langen Reihe von Jahren*** zu Stande zu bringen; wegen ***Mangels an Arbeitskräften*** in dem dortigen, noch so wenig bewohnten Lande. Denn zu der Wasserstrafse besteht der ***gröfste*** Theil Dessen, was zu thun ist, in gewöhnlichen Hand-Arbeiten, die nur ***zur Stelle*** geschehen können. Gesetzt, es koste die Wasserstrafse nach Herrn ***Garella*** $34\frac{2}{3}$ Mill. Thlr., so kommen davon gewifs 30 Mill. Thlr. auf Arbeiten, die nur zur Stelle verrichtet werden können. Setzt man im Durchschnitt 20 Sgr. täglichen Verdienst des gewöhnlichen Arbeiters, so sind etwa 45 Mill. ***Arbeitstage*** nöthig. Rechnet man ferner 250 Arbeitstage im Jahre, was in der dortigen Gegend wegen der heftigen Regengüsse wohl das Äufserste sein dürfte, so wären, um das Werk auch nur erst in ***10 Jahren*** zu beendigen, noch immer 18000 Arbeiter nöthig. Ob so viele Arbeiter dort herbeizuschaffen möglich sind, ist sehr die Frage. Bei der Eisenbahn ist dies ***viel*** anders. Bei ihr kommen vielleicht kaum 4 Mill. Thlr. auf Arbeiten, die ***zur Stelle*** verrichtet werden müssen. Alles Übrige kann von fern herbeigeschafft werden. Es sind also nur 6 Mill. Arbeitstage nöthig und folglich, selbst um schon in 5 Jahren das Werk zu Stande zu bringen, nur 4800 Arbeiter, die wohl schon zu haben sein dürften. Mit diesen 4800 Arbeitern würde sich die Wasserstrafse erst in 36 bis 37 Jahren herstellen lassen.

Auch noch vor einer Wasserstrafse ***ohne*** Schleusen, wenn für dieselbe, wie für die Eisenbahn, das ***Umladen*** der Schiffe nöthig ist, würde die Eisenbahn den Vorzug haben; denn sie wäre jedenfalls viel wohlfeiler und eher ausführbar. Blofs eine Wasserstrafse ***ohne*** Schleusen, für welche ***nicht*** umzuladen nöthig ist, kommt der Eisenbahn gegenüber in Betracht.

41.

Zusammengenommen ergiebt aus den vorstehenden Erwägungen Folgendes.

Erstlich würde näher und bestimmter auszumitteln und zu berechnen sein: ob ohne *allzu* grofse Kosten ein Canal *ohne* Schleusen mit hinreichend tiefen und sichern Eingangshäfen, und zwar in der kürzesten Linie bei Panama, von der Gröfse *möglich* sei, dafs die Schiffe *nicht* umzuladen nöthig haben: ob die nöthigen Arbeiter sich herbeischaffen lassen, um das Werk in nicht gar zu langer Zeit zu Stande zu bringen, und ob der zu erwartende Ertrag zu den Zinsen der Anlagekosten, zur allmäligen Tilgung derselben, zur Erhaltung und Verwaltung des Canals und zu der Zugkraft für die Schiffe auf dem Canal zureichen dürfte.

Zweitens. Ist dies nicht der Fall, so dürfte auf *jede* Wasserstrafse, selbst auf einen Canal *ohne* Schleusen, für welche *umgeladen* werden mufs, und noch viel mehr auf eine Wasserstrafse *mit* Schleusen und vielleicht zum Theil auf Flüssen, ein für allemal *unbedingt* zu verzichten sein; aus den obigen Gründen. Es wäre eine unnütze Mühe, dann noch andere Linien für die Wasserstrafse zu suchen.

Drittens würde näher und bestimmter auszumitteln und zu berechnen sein, wieviel eine kunstgerechte und feste zweispurige Eisenbahn, und zwar in der *kürzesten* Linie bei Panama, mit Einschlufs der Anlandehäfen kosten würde, ob die nöthigen Arbeiter, um das Werk in etwa 5 Jahren zu vollenden, zu haben sein werden, und ob der zu erwartende Ertrag zu den Zinsen und zur allmäligen Tilgung der Anlagekosten, zur Erhaltung und Verwaltung der Bahn und zu den Kosten der Zugkraft und des Umladens der Frachten hinreichen dürfte.

Viertens. Für die Eisenbahn ist alles Dies *wahrscheinlich.* Sollte aber die nähere Berechnung das Gegentheil ergeben, so ist überhaupt die Strafsenverbindung der beiden Meere ohne Zuschüsse der betheiligten Seemächte nicht möglich; wenigstens nicht ohne Zuschüsse für die Zeit, bis sich der Handelsgang in dieser Richtung verstärkt und den Ertrag erhöht hat.

Möchten die obigen Bemerkungen von allen Denjenigen nicht übersehen werden, die auf das Zustandekommen dieser Verbindung der beiden Meere einzuwirken vermögen, damit man, wenn ja Etwas zu Stande kommt, wohl nicht gar am Ende den Zweck verfehle und grofse Geldsummen gänzlich verloren gehen; was in der That nur zu leicht möglich ist, wenn man nicht auf einen Canal *mit Schleusen* und theilweise auf *Flüssen* verzichtet.

Die Strafsenverbindung der beiden Meere hier ist jedenfalls ein sehr zu wünschendes und grofses Werk. Dasselbe hat selbst noch einen höhern Zweck, als den blofsen anfänglichen Geld-Ertrag: es wäre ein neuer thatsächlicher Beweis des wirklichen Fortschritts; weshalb es denn auch der grofsen Mächte ganz würdig wäre, wenn sie zu Hülfe kämen. Auch kommt es gar nicht blofs auf den Ertrag an, auf welchen man nach dem *bisherigen* Zustande der Dinge zu rechnen hat: ungefähr eben so, wie es bei den Eisenbahnen in beiden Erdhälften der Fall war. Die Bewegung auf denselben fand sich *bei weitem* gröfser, als auf den *bisherigen* Strafsen. Die bessern Strafsen *erhöhen* den Verkehr. Auch hier würde die bessere Strafse den Handelsverkehr vermehren und die Steigerung würde ins Unabsehliche zunehmen, wenn erst die Westküste der beiden America's mehr angebaut und bewohnt wäre; was zu fördern die Strafse ihrerseits kräftig beitragen würde. Dann werden auch selbst die Zuschüsse, welche etwa die Seemächte gewähren möchten, wirklich wieder einkommen.

Berlin im October 1849.

2.

Über die Aufhebung der Ungleichmäfsigkeit der durch die Kurbel vermittelten Bewegung.

(Von Herrn Amtmann *Prehn* in Ratzeburg.)

Wenn die gleichförmig rotirende Bewegung einer Axe und die (alternirende) geradlinige Bewegung einer Stange mittels der Kurbel mit einander in Verbindung gesetzt sind, so hebt die Geschwindigkeit der Stange mit 0 an, wächst bis zu einem Maximum, und nimmt dann wieder bis auf 0 ab: die Bewegung ist aber ungleichmäfsig, dergestalt, dafs das Maximum nicht in der Mitte liegt, vielmehr die Stange in der einen Hälfte der auf den ganzen Weg verwendeten Zeit mehr als die Hälfte des Weges und in der andern Hälfte der Zeit weniger als die Hälfte des Weges zurücklegt.

Diese Ungleichmäfsigkeit, welche bei manchen Maschinen Unzuträglichkeiten hat, wird vermindert, je mehr die Leitstange der Kurbel verlängert wird; sie würde ganz verschwinden, wenn die Leitstange unendlich lang werden könnte.

Es werde nun die Aufgabe gestellt: eine Kurbel, für eine beliebige endliche Länge der Leitstange so zu construiren, dafs sie eine vollkommen gleichmäfsige geradlinigte Bewegung vermittelt, gleich derjenigen, welche bei Anwendung einer unendlich langen Leitstange entstehen würde.

Die Betrachtung des analytischen Ausdrucks für die Kurbelbewegung hat mich zu einer einfachen Lösung dieses Problems geführt.

Ist in (Taf. II. Fig. 1.) $ce = r$ der Halbmesser der Kurbel, $ef = l$ die Länge der Leitstange und $a'b' = 2r$ der ganze Weg, den die Stange fn bei einer halben Umdrehung der Axe zurückzulegen hat; ist ferner $a'f = u$ der einer Axendrehung $bce = \varphi$ correspondirende Weg der Stange, so findet man

$$u = r(1 - \cos\varphi) + \sqrt{(l^2 - r^2 \sin\varphi^2)} - l.$$

Für den Fall, dafs $l = \infty$ oder die Leitstange unendlich lang wäre, hätte man: $u = r(1 - \cos\varphi)$.

Der Weg $a'g'$, der einer Axendrehung $= \pi\varphi$ correspondirt, ist $= r(1 + \cos\varphi) + \sqrt{(l^2 - r^2 \sin\varphi^2)} - l$, und bezeichnet man mit u' den Weg

$b'g' = 2r - a'g'$, den die Stange beim Rückwärtsgehen während einer Axendrehung $= \varphi$ zurücklegen würde, so hat man

$$u' = r(1 - \cos\varphi) - \sqrt{(l^2 - r^2 \sin\varphi^2)} + l.$$

Giebt man der Kurbel eine zweite Leitstange eg, von der gleichen Länge $= l$, aber entgegengesetzter Lage, so ist es offenbar, dafs bei einer Axendrehung $= \varphi$ der Punct g der zweiten Leitstange, in der Richtung der durch das Centrum der Kurbel gehenden Senkrechten, den Weg $ag = b'g' = u'$ zurücklegen wird, während der Punct f der ersten Leitstange den Weg $a'f = u$ zurücklegt. Nun ergeben aber die Gleichungen, dafs

$$\tfrac{1}{2}(u + u') = r(1 - \cos\varphi),$$

d. h. das arithmetische Mittel der Wege von f und von g ist, gleich dem Wege, den die Stange bei der erzielten gleichmäfsigen Bewegung zurücklegen soll.

Könnte man daher die Puncte f und g der beiden Leitstangen so verbinden, dafs beide ihre eigenthümliche Bewegung behielten, und könnte man bei dieser Verbindung den Angriffspunct der Stange so anbringen, dafs der Weg der Stange dem arithmetischen Mittel der von den Puncten f und g zurückgelegten Wege gleich sein müfste, so würde die Aufgabe gelöset sein.

Beide Bedingungen werden aber ersichtlich durch ein verschiebbares Quadrat erfüllt, dessen oberste und unterste Winkelspitzen resp. mit den Puncten f und g verbunden werden, während der Mittelpunct desselben zum Angriffspunct der Stange genommen wird. Die Verschiebbarkeit des Quadrats in ein gleichseitiges Parallelogramm gestattet nemlich die gleichzeitige Bewegung der beiden Leitstangen, und der Weg, den der Mittelpunct zurücklegt, ist nothwendig das arithmetische Mittel der Wege der beiden Winkelspitzen.

Die Fig. 2. zeigt die Anordnung für den Fall, dafs die Kurbel frei aufserhalb des Stützpuncts der Axe liegt: für den Fall, dafs die Kurbel in einem Knie der Axe gehen soll, mufs das Gestänge gebrochen sein; so dafs es die Axe zwischen sich fassen kann.

Es ist der Punct f der obern Leitstange mittels des Verbindungsstücks fd' mit der obern Winkelspitze d' und der Punct g der untern Leitstange mittels des Verbindungsstücks gd mit der untern Winkelspitze d des Quadrats in Verbindung gesetzt; wobei es sich von selbst versteht, dafs die Verbindungsstücke fd' und gd durch Frictionsrollen, oder auf andre Weise in lothrechter Stellung erhalten werden müssen. In dem Mittelpunct a des Quadrats ist der Angriffspunct der Stange an, welche alsdann die geforderte gleichmäfsige Bewegung erhält.

Um die Gröfse des Quadrats zu bestimmen, dient folgende Betrachtung.

Die Entfernung der Puncte f und g, welche bei $\varphi = 0$ und $\varphi = \pi$ ihren gröfsten Werth $= 2l$ hat, ist am kleinsten bei $\varphi = \frac{1}{2}\pi$ und hat da den Werth $= 2\sqrt{(l^2 - r^2)}$; das Qudrat mufs daher um die Länge $= 2(l - \sqrt{(l^2 - r^2)})$ sich strecken können. Ist nun δ der kleinste Winkel, den die Seiten des Quadrats bei der stärksten Verschiebung mit einander bilden und a die Länge der Seite, so ist die gröfste Streckung des Quadrats $= 2a(\cos\frac{1}{2}\delta - \sin\frac{1}{2}\delta)$ und man hat mithin zur Bestimmung der Seite a die Gleichung

$$a = \frac{l - \sqrt{(l^2 - r^2)}}{\cos\frac{1}{2}\delta - \sin\frac{1}{2}\delta}.$$

Der Werth von δ ist von technischen Rücksichten abhängig; in der Zeichnung Fig. 2. ist $\delta = 60^0$ vorausgesetzt und es ist mithin, da $l = 2{,}3\,.\,r$ ist, $a = \frac{2}{3}r$; nimmt man den Werth $\delta = 45^0$ als zuläfslich an, so erhält man für die Seite des Quadrats $a = 0{,}444\,.\,r$.

Berlin, den 23. März 1850.

3.

Zusätze zu der Abhandlung des Herausgebers No. 2, 10, 13 und 17 im 22ten Bande dieses Journals „Über die verschiedenen Arten, die Spannkraft der „atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf „Eisenbahnen zu benutzen."

Gegen einige Rechnungen in dieser Abhandlung hat der Herr Amtmann *Prehn* zu Ratzeburg im Lauenburgischen Erinnerungen aufgestellt, und zwar in französischer Sprache, um so in das Journal für die reine und angewandte Mathematik, welches der Herausgeber des gegenwärtigen Journals veröffentlicht und in welchem sich die in der Überschrift genannte Abhandlung, ebenfalls in französischer Sprache, unter den Nummern 3, 14, 26 und 30 des 32ten Bandes befindet, aufgenommen zu werden; was auch geschehen wird.

Von den Erinnerungen des Herrn *Prehn* folgt hier, mit Genehmigung des Herrn Verfassers, die deutsche Übersetzung, damit die Erinnerungen auch zur Kenntnifs der Leser des oben genannten Aufsatzes im *gegenwärtigen* Journal gelangen mögen.

Da der Herausgeber dieses und des mathematischen Journals Bemerkungen zu den Erinnerungen des Herrn *Prehn* zu machen hat, so werden dieselben dem französischen Texte der Erinnerungen im mathematischen Journal ebenfalls französisch angefügt werden: hier folgen dieselben der nachstehenden Übersetzung der Erinnerungen deutsch.

(Übersetzung.)

Bemerkungen über die Rechnung des Herausgebers dieses Journals in der Abhandlung „Über die verschiedenen Arten die Spannkraft „der atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen „zu benutzen." (Im 32. Bande des Journals der Mathematik.)

(Von dem Herrn Amtmann *Prehn* zu Ratzeburg.)

1. Nachdem der Herausgeber (S. 17 Band 22. *dieses* Journals unter *Viertens*) geäufsert hat, dafs die Erniedrigung der Temperatur die Spannkraft

der Luft nur wenig schwäche, gründet er die Berechnung der Wirkungen der verschiedenen Arten von Maschinen und der zur Ausdehnung und Zusammenpressung der Luft nöthigen Kraft blofs auf den Satz, dafs die Spannkraft der Luft nur allein von ihrer Dichtigkeit abhange.

2. Für einen Theil der Rechnungen ist die Spannkraft der Luft wirklich unveränderlich stark, und auch fast in allen übrigen Rechnungen ist die Voraussetzung als gerechtfertigt zu betrachten, weil die Veränderungen der Temperatur, obgleich nicht ganz vermeidbar, in sehr engen Grenzen eingeschlossen sind. Bei der Berechnung der Wirkung der Luftwagen zweiter Art [mit Absperrung D. H.] dürfte es indessen nöthig sein, die Veränderungen der Temperatur zu berücksichtigen. Und da der Herausgeber zu dem End-Ergebnifs gelangt, dafs die Luftwagen *mit* Absperrung allen andern in der Abhandlung gedachten Arten der Zugkraft vorzuziehen seien, so ist dieser Theil der Rechnungen der wesentlichste Punct seiner Abhandlung.

3. Um nun zu zeigen, dafs es in diesem Fall nothwendig sei, von naturgemäfseren Sätzen auszugehen, werde ich den Werth, welchen der Herausgeber für das Verhältnifs $\frac{M}{M'}$ der Kraftmomente der Luftwagen *mit* und *ohne* Absperrung in (§. 46. S. 238 Bd. 22. Gl. 350.) findet, mit demjenigen Werthe dieses Verhältnisses vergleichen, der den Umständen wirklich gemäfs ist. Es wird leicht sein, daraus weiter den Einflufs der Abweichung auf die übrigen Rechnungen und auf das End-Ergebnifs zu finden.

4. Verfolgt man den Gang der Rechnungen des Herausgebers in (§. 46.), so findet sich zunächst für den *constanten* Theil des Kraftmoments, von $x = 0$ bis $x = k$, wie im Text, für einen einzelnen Cylinder:

$$(1.) \qquad M_1 = \tfrac{1}{2}\pi \mathcal{A}^2 \mu \sigma k \text{ (Gl. 329. S. 235).}$$

5. Bei der Berechnung des *veränderlichen* Theils M_2 des Kraftmoments [§. 46. *D.*] ist aber zu bemerken, dafs die Spannkraft U einer Luftmasse von der Dichtigkeit D und Temperatur T durch

$$(2.) \qquad U = (1 + \omega T) D$$

ausgedrückt wird, wo ω der Ausdehnungscoëfficient der atmosphärischen Luft ist, den wir constant und zwar

$$(3.) \qquad \omega = 0{,}00366 \; [= \tfrac{1}{273}]$$

setzen, während T in hunderttheiligen Thermometergraden auszudrücken ist.

6. Verändert sich nun die Dichtigkeit und geht in d über, so ändert sich auch die Temperatur und Spannkraft; z. B. in t und u. Das Gesetz dieser

Veränderung drückt die bekannte Gleichung

$$(4.) \quad 1+\omega t = (1+\omega T)\left(\frac{d}{D}\right)^{0,421}$$

aus, welche

$$(5.) \quad u = (1+\omega t)d = (1+\omega T)D\cdot\left(\frac{d}{D}\right)^{1,421}$$

giebt.

Im vorliegenden Falle ist

$$(6.) \quad U = 1+\mu,$$

und da T die Temperatur der Luft im Behälter ist, welche wir der Temperatur der äufsern Luft gleich setzen, so ist

$$(7.) \quad D = \frac{1+\mu}{1+\omega T}.$$

7. Da sich die Dichtigkeit umgekehrt wie der vom Luftkolben durchlaufene Raum verhält, so ist

$$(8.) \quad d = D\cdot\frac{k}{x} \text{ und}$$

$$(9.) \quad dM_2 = \tfrac{1}{2}\pi\Delta^2\sigma\left[(1+\mu)\left(\frac{k}{x}\right)^{0,421}-1\right]dx,$$

welches integrirt

$$(10.) \quad M_2 = \tfrac{1}{2}\pi\Delta^2\sigma\left[\text{const.}-\frac{(1+\mu)k}{0,421}\left(\frac{k}{x}\right)^{0,421}-x\right]$$

giebt.

8. Durch ähnliche Schlüsse wie im Text [§. 46.] findet sich, dafs das *möglich-gröfste* Kraftmoment erlangt wird, wenn man die Spannung der Luft am Schlusse des ganzen Kolbenlaufs $x = \lambda$, bis auf die Spannung σ der Atmosphäre hinabsinken läfst, und zur Bestimmung des dazu nöthigen Werths von k [von 0 bis zur Absperrung] ergiebt sich die Gleichung

$$(11.) \quad (1+\mu)\left(\frac{k}{\lambda}\right)^{1,421} = 1,$$

welche

$$(12.) \quad k = \frac{\lambda}{(1+\mu)^{\frac{1}{1,421}}}$$

giebt.

Nimmt man also das Integral M_2 (10.) von $x = \dfrac{\lambda}{(1+\mu)^{\frac{1}{1,421}}}$ bis $x = \lambda$,

so findet sich für das *möglich-gröfste* Kraftmoment des Kolbens für einen

einzelnen Cylinder, nach den nöthigen Reductionen:

$$(13.) \qquad M_2 = \tfrac{1}{2}\pi\Delta^2\sigma\lambda\left[\frac{1}{0{,}421}(1+\mu)^{\frac{0{,}421}{1{,}421}} + \frac{1}{(1+\mu)^{\frac{1}{1{,}421}}} - \frac{1{,}421}{0{,}421}\right].$$

9. Nun ist oben [in 1.], ebenfalls für das *möglich-gröfste* Moment und für einen einzelnen Cylinder:

$$(14.) \qquad M_1 = \tfrac{1}{2}\pi\Delta^2\sigma\lambda\cdot\frac{\mu}{(1+\mu)^{\frac{1}{1{,}421}}};$$

also ist für *zwei* Cylinder das gesammte Moment

$$(15.) \qquad M = M_1 + M_2 = \frac{1{,}421}{0{,}421}\pi\Delta^2\sigma\lambda\left[(1+\mu)^{\frac{0{,}421}{1{,}421}} - 1\right];$$

und dies ist das *möglich-gröfste* Kraftmoment, welches die Masse

$$(16.) \qquad a = \pi\Delta^2\cdot\frac{1+\mu}{1+\omega T}\cdot k = \pi\Delta^2\lambda\cdot\frac{(1+\mu)^{\frac{0{,}421}{1{,}421}}}{1+\omega T}$$

atmosphärischer Luft von T Grad Wärme hervorzubringen vermag.

Substituirt man den Werth von $\pi\Delta^2\lambda$ [aus (16.) in (15.)], so ergiebt sich auch

$$(17.) \qquad M = \frac{1{,}421}{0{,}421}a\sigma(1+\omega T)\left[1 - \frac{1}{(1+\mu)^{\frac{0{,}421}{1{,}421}}}\right].$$

10. Andrerseits ist das Kraftmoment eines Luftwagens *ohne* Absperrung

$$(18.) \qquad M' = \pi\Delta^2\mu\lambda\sigma.$$

Die dazu nöthige Luftmasse, ebenfalls von T Grad Wärme, ist

$$(19.) \qquad a_1 = \pi\Delta^2\frac{1+\mu}{1+\omega T}\lambda;$$

also ist, wenn man $a_1 = a$ setzt [aus (18.)],

$$(20.) \qquad M' = a\sigma(1+\omega T)\frac{\mu}{1+\mu},$$

mithin aus [(17.) und (20.)]

$$(21.) \qquad \frac{M}{M'} = \frac{1{,}421}{0{,}421}\,\frac{(1+\mu)-(1+\mu)^{\frac{1}{1{,}421}}}{\mu},$$

und dies giebt

$$(22.) \quad \begin{cases} \text{Für } \mu = & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \\ \frac{M}{M'} = & 1{,}408 & 1{,}516 & 1{,}600 & 1{,}668 & 1{,}725 & 1{,}774 & 1{,}817 & 1{,}854 & 1{,}888; \end{cases}$$

was bedeutend von dem Ergebnifs des Textes abweicht, indem dort nach der Formel

$$(23.) \qquad \frac{M}{M'} = \frac{1+\mu}{\mu} \log.\,\text{nat.}(1+\mu) \quad \text{(S. 238 Gl. 350.)}$$

$$(24.) \quad \begin{cases} \text{Für } \mu = & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \\ \frac{M}{M'} = & 1{,}648 & 1{,}848 & 2{,}012 & 2{,}150 & 2{,}270 & 2{,}377 & 2{,}472 & 2{,}558 & 2{,}637 \end{cases}$$

sein soll.

Die Unterschiede der Zahlen in (22. und 24.) betragen von $\mu = 2$ bis $\mu = 10$, 17 bis 40 pr. c. [um diesen Theil von (22.) sind die in (24.) gröfser], und für $\mu = 16$ [in §. 67. S. 337] würde der Unterschied noch gröfser sein.

Nun ist die Berechnung von M' [20.] genau: also ist es das Kraftmoment M der Luftwagen *mit* Absperrung, welches der Berichtigung bedarf.

11. In der That: wenn stark zusammengepreſste Luft, z. B. von 10 Atmosphären Spannung, sich plötzlich ausdehnt, bis zum Gleichgewicht mit der atmosphärischen Luft, so mufs nothwendig ihre Wärme sehr bedeutend abnehmen, und wenn die anfängliche Wärme der zusammengepreſsten Luft die gewöhnliche Wärme der Atmosphäre ist, so würde man, wenn man die Temperatur der ausgedehnten Luft beobachten könnte, einen bis jetzt unbekannten Grad von Kälte finden; wie ihn die obige Gleichung für t giebt.

12. Man wird vielleicht glauben, dafs die Luft, welche sich ausgedehnt hat, alsbald wieder den gröfsten Theil ihrer Wärme durch Mittheilung derselben von den Wänden des Cylinders zurückerlangen werde, so dafs das Ergebnifs der Rechnung nicht mit der Wirklichkeit übereinstimmen dürfte; aber dies würde ein grofser Irrthum sein. Ohne Zweifel wird einige Wärme wieder ersetzt werden, aber die Wirkung der Wieder-Mittheilung kann in der kurzen Zeitdauer eines Kolbenlaufs nicht sehr bedeutend sein, weil die Luft ein schlechter Wärmeleiter ist. Und da für $x = k$, wo die Ausdehnung der Luft im Cylinder beginnt, der Lauf des Kolbens schon schnell ist und während desjenigen Theils seines Laufs, in welchem der gröfste Theil des Kraftmoments erlangt wird, schnell bleibt, so kann die Wieder-Mittheilung von Wärme das gesammte, nach der obigen Theorie gefundene Moment nicht erheblich ändern.

Übrigens kann ich versichern, dafs ich durch beziehliche Versuche, die ich über die plötzliche Ausdehnung von Luft, welche in einem kupfernen Cylinder zusammengepreſst war, angestellt habe, Gelegenheit fand, die wirk-

liche Existenz von ungewöhnlichen Kältegraden zu beobachten, die nur sehr wenig von denen abwichen, welche die Theorie giebt.

Berlin am 22. März 1850.

Bemerkungen des Herausgebers dieses Journals zu den vorstehenden Erinnerungen.

13. Diesen Erinnerungen nach soll, in Folge der bei der Ausdehnung der Luft entstehenden Erniedrigung ihrer Temperatur, die durch die *Absperrung* erzielte Vergröfserung der Wirkung einer bestimmten Masse zusammengepreſster Luft weniger, und zwar *bedeutend* weniger betragen, als der Herausgeber sie in seiner Abhandlung, *ohne* Berücksichtigung der Temperaturveränderungen, blofs nach dem *Mariotte*schen Gesetz, gefunden hat.

Die Rechnungen in den Erinnerungen, und folglich auch ihr End-Ergebnifs (21.), sind vollkommen richtig, sobald die *Gleichung (4.)*, die den Einflufs der Temperaturveränderungen bei der Ausdehnung und Zusammenpressung der Luft auf ihre Spannkraft ausdrückt, richtig ist.

14. Da der Hauptpunct der Abhandlung des Herausgebers der war, nachzuweisen, *dafs zusammengepreſste Luft eine vortheilhaftere und bessere bewegende Kraft für Eisenbahnen sei, als Wasserdampf*, so wird es, um über diesen *Hauptpunct* mit Rücksicht auf die obigen Erinnerungen zu urtheilen, am besten sein, die Gleichung (4.) und folglich die Ergebnisse des Herrn Verfassers *einstweilen* ohne alle Erinnerung, ganz so wie sie sind anzunehmen und zu sehen, was sich in dem vorhin bezeichneten Hauptpunct, und zwar an dem nemlichen Beispiele, welches der Herausgeber in (§. 67. S. 337 etc.) angenommen hat, ergiebt.

15. Man setze der Kürze wegen in (4.) den Exponenten

$$(25.) \qquad 0{,}421 = \varepsilon,$$

so ist zunächst in (10.), für ein *beliebiges* k und für einen einzelnen Cylinder:

$$(26.) \qquad M_2 = \tfrac{1}{2}\pi\Delta^2\sigma\Big[\text{const.} - \frac{(1+\mu)k}{\varepsilon}\Big(\frac{k}{x}\Big)^{\varepsilon} - x\Big].$$

Dies giebt, da $M_2 = 0$ für $x = k$ ist, $\text{const.} = \frac{(1+\mu)k}{\varepsilon} + k$, also

$$(27.) \qquad M_2 = \tfrac{1}{2}\pi\Delta^2\sigma\Big[\frac{(1+\mu)k}{\varepsilon}\Big(1 - \Big(\frac{k}{x}\Big)^{\varepsilon}\Big) + k - x\Big]$$

und vollständig, für $x = k$,

$$(28.) \quad M_2 = \tfrac{1}{2}\pi\Delta^2\sigma\left[\frac{(1+\mu)k}{\varepsilon}\left(1-\left(\frac{k}{\lambda}\right)^{\varepsilon}\right)+k-\lambda\right].$$

Dazu aus (1.) $M_1 = \frac{1}{2}\pi\Delta^2\mu\sigma k$ gethan, giebt für *zwei* Cylinder

$$M = M_1+M_2 = \pi\Delta^2\sigma\left[\frac{(1+\mu)k}{\varepsilon}\left(1-\left(\frac{k}{\lambda}\right)^{\varepsilon}\right)+(1+\mu)k-\lambda\right] \text{ oder}$$

$$(29.) \quad M = \pi\Delta^2\sigma\left[\frac{(1+\mu)k}{\varepsilon}\left(1+\varepsilon-\left(\frac{k}{\lambda}\right)^{\varepsilon}-\lambda\right)\right].$$

16. Ist nun die Maschine so eingerichtet, dafs sie *für die Spannung* μ_1 die möglich-gröfste Wirkung hat, wie es der Herausgeber in (§. 47. S. 239) annimmt, so mufs hier nach (12.)

$$(30.) \quad k = \frac{\lambda}{(1+\mu_1)^{\frac{1}{1+\varepsilon}}}$$

sein. Dies in (29.) gesetzt, giebt

$$M = \pi\Delta^2\sigma\left[\frac{(1+\mu)\lambda}{\varepsilon(1+\mu_1)^{\frac{1}{1+\varepsilon}}}\left(1+\varepsilon-(1+\mu_1)^{-\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}}\right)-\lambda\right] \text{ oder}$$

$$(31.) \quad M = \pi\Delta^2\sigma\lambda\left[\frac{1+\mu}{\varepsilon}\left(\frac{1+\varepsilon}{(1+\mu_1)^{\frac{1}{1+\varepsilon}}}-\frac{1}{1+\mu_1}\right)-1\right]$$

$$= \frac{\pi\Delta^2\lambda\sigma(1+\mu)}{\varepsilon}\cdot\left[\frac{1+\varepsilon}{(1+\mu_1)^{\frac{1}{1+\varepsilon}}}-\frac{1}{1+\mu_1}\right]-\pi\Delta^2\sigma\lambda.$$

Dieses wäre das Kraftmoment, welches Luft von der Spannung $1+\mu$ bei einer für die vortheilhafteste Wirkung der Spannung $1+\mu_1$ eingerichteten Absperrung $k = \frac{\lambda}{(1+\mu_1)^{\frac{1}{1+\varepsilon}}}$ (30.) hervorbringt.

17. Die dazu verwendete Masse *a atmosphärischer* Luft ist nach (16.)

$$(32.) \quad a = \pi\Delta^2\frac{1+\mu}{1+\omega T}\cdot k = \pi\Delta^2\frac{1+\mu}{1+\omega T}\cdot\frac{\lambda}{(1+\mu_1)^{\frac{1}{1+\varepsilon}}} \text{ (30.).}$$

Daraus folgt

$$(33.) \quad \pi\Delta^2\lambda(1+\mu) = a(1+\omega T)(1+\mu_1)^{\frac{1}{1+\varepsilon}},$$

und dies, in (31.) gesetzt, giebt

$$M = \frac{a\sigma(1+\omega T)(1+\mu_1)^{\frac{1}{1+\varepsilon}}}{\varepsilon}\cdot\left[\frac{1+\varepsilon}{(1+\mu_1)^{\frac{1}{1+\varepsilon}}}-\frac{1}{1+\mu_1}\right]-\pi\Delta^2\sigma\lambda \text{ oder}$$

$$(34.) \quad M = \frac{a\sigma(1+\omega T)}{\varepsilon}\left[1+\varepsilon-(1+\mu_1)^{-\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}}\right]-\pi\Delta^2\sigma\lambda$$

und hieraus ergiebt sich

$$(35.) \qquad a = \frac{\varepsilon(M+\pi\Delta^2\lambda\sigma)}{1+\varepsilon-(1+\mu_1)^{-\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}}};$$

welches die Masse *atmosphärischer* Luft ist, welche, auf jede *beliebige* Spannung $1+\mu$ gebracht, bei der für die Spannung $1+\mu_1$ vortheilhaftesten Absperrung $k = \frac{\lambda}{(1+\mu_1)^{\frac{1}{1+\varepsilon}}}$ das Kraftmoment M hervorbringt.

18. Wäre *keine* Absperrung vorhanden, so wäre $k = \lambda$, also aus (30.) $(1+\mu_1)^{\frac{1}{1+\varepsilon}} = 1$, und $1+\mu_1 = 1$ oder

$$(36.) \qquad \mu_1 = 0$$

zu setzen. Dann also wäre nach (35.), um *das selbe* Kraftmoment M durch jede beliebige Spannung der Luft $1+\mu$ hervorzubringen (wie es auf der Eisenbahn sein mufs, wo die erforderliche *Zugkraft* das nöthige Moment bestimmt und μ nach der den Abhängen der Bahn gemäfsen Zugkraft sich ändern mufs) nicht mehr die Masse a atmosphärischer Luft (35.), sondern (in (35.) $\mu_1 = 0$ gesetzt) die Masse

$$(37.) \qquad a_1 = \frac{\varepsilon(M+\pi\Delta^2\lambda\sigma)}{1+\varepsilon-1} = M+\pi\Delta^2\lambda\sigma$$

nöthig. Also ist *mit Absperrung* nur

$$(38.) \qquad \frac{a}{a_1} = \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon-(1+\mu_1)^{-\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}}} \textit{ mal so viel}$$

atmosphärische Luft nöthig, als *ohne Absperrung*.

19. Dieser *aus der Formel (4.)* hervorgehende Ausdruck tritt an die Stelle desjenigen

$$(39.) \qquad \frac{1}{\log.\,\text{nat.}(1+\mu_1)+1}$$

in (§. 55. *G.* S. 256) der Abhandlung des Herausgebers des Journals. Dieser letztere Ausdruck geht auch, wie gehörig, aus dem (38.) hervor, wenn man $\varepsilon = 0$ setzt; wie es in (4.) sein mufs, wenn man die Wirkung der durch die Ausdehnung der Luft entstehenden Temperaturveränderung, wie es der Herausgeber that, *nicht* berücksichtigt. Für $\varepsilon = 0$ nemlich giebt (38.) $\frac{a}{a_1} = \frac{0}{0}$, also

$$\frac{a}{a_1} = \frac{\partial\varepsilon}{\partial\left[1+\varepsilon-(1+\mu_1)^{-\frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}}\right]} = \frac{\partial\varepsilon}{\partial\varepsilon-\partial(1+\mu_1)^{-\frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}}}.$$

Setzt man $1+\mu_1=c$ und $\frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}=z$, so ist $(1+\mu_1)^{-\frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}}=\frac{1}{c^z}$, und davon ist das Differential

$$-\frac{\partial c^z}{c^{2z}}=-\frac{\partial z\,.\,c^z\,\text{log. nat.}\,c}{c^{2z}}=-\frac{\partial z\,\text{log. nat.}\,c}{c^z}$$

$$=-\left[\frac{\partial\varepsilon}{1+\varepsilon}-\frac{\varepsilon\,\partial\varepsilon}{(1+\varepsilon)^2}\right]\frac{\text{log. nat.}(1+\mu_1)}{(1+\mu_1)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}}}=-\frac{\partial\varepsilon}{(1+\varepsilon)^2}\cdot\frac{\text{log. nat.}(1+\mu_1)}{(1+\mu_1)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}}},$$

also

$$\frac{a}{a_1}=\frac{1}{1+\frac{1}{(1+\varepsilon)^2}\cdot\frac{\text{log. nat.}(1+\mu_1)}{(1+\mu_1)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}}}},$$

und für $\varepsilon=0$,

$$\frac{a}{a_1}=\frac{1}{1+\text{log. nat.}(1+\mu_1)};$$

wie (39.).

20. Die beiden Formeln (38. und 39.) neben einander gestellt geben (für die zweite die Zahlen aus (348. §. 49. S. 248) genommen):

	Für $\mu_1=$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	∞
(40.) 1.	$\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon-(1+\mu_1)^{-\frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}}}=$	1	0,6940	0,6024	0,5555	0,5261	0,5055	0,4900	0,4779	0,4681	0,4599	0,4529	...	0,29627
2.	$\frac{1}{1+\text{log.nat.}(1+\mu_1)}=$	1	0,5907	0,4768	0,4191	0,3833	0,3581	0,3394	0,3248	0,3128	0,3028	0,2943	...	0.

21. Nach der Formel (38.) läfst sich nun berechnen, wie es sich auf der in (§. 67. S. 337 etc.) zum Beispiel genommenen Eisenbahn zwischen Berlin und Potsdam verhalten würde, wenn man die durch die Ausdehnung der Luft bei der Absperrung entstehende Temperaturveränderung nicht unberücksichtigt läfst, sondern sie nach dem Ausdruck (4.) in Rechnung bringt.

Ohne Absperrung nemlich sind, wie in (§. 64. S. 327) berechnet, für eine Fahrt auf der genannten Bahn, mit 1800 Ctr. Gewicht der Wagen, nach (539. S. 328) 57246 C. F. atmosphärische Luft, zusammengepreſst, so weit es angemessen ist, mitzuführen nöthig.

Setzt man nun wie in (§. 67. *A.* S. 337) eine ***Absperrung*** von

$$(41.)\quad \mu_1=3,$$

so sind nach (546. S. 328 oder 571. S. 337), wenn die Temperaturveränderung der Luft durch ihre Ausdehnung nach der Absperrung wie dort *nicht* be-

rücksichtigt wird, gemäfs der Formel (39.) nach (40. 2.)

(42.) $57\,246.0{,}4191 = 23\,992$ C. F.

atmosphärische Luft mitzuführen nöthig; wie es (571. S. 337) angiebt. Wird dagegen die Temperaturveränderung nach der Formel (4.) berücksichtigt, so müssen nach (40. 1.)

(43.) $57\,246.0{,}5555 = 31\,800$ C. F.

atmosphärischer Luft mitgeführt werden, also

(44.) $\frac{31\,800}{23\,992} = 1{,}325$ *mal so viel.*

22. Nimmt man ferner, wie in (§. 67. S. 340) an, dafs die Luft mit 8 Atmosphären wirksamer Spannung in den Luftbehältern mitgenommen werden soll, so sind jetzt nöthig:

(45.)
1. $83.1{,}325 = 180$ Luftbehälter, statt 83 nach (575. S. 338).
2. $G = 239.1{,}325 = 317$ Ctr. Gewicht derselben, statt 239 Ctr. nach (577. S. 338).
3. $A = 30.1{,}325 = 40$ Ctr. Gewicht der mitgeführten Luft, statt 30 Ctr. nach (578. S. 338).
4. $E = 100 + 317 + 40 = 457$ Ctr. Gewicht der Zugwerkzeuge, statt 369 Ctr. nach (579. S. 338).
5. $m = 101.1{,}325 = 134$ Pferdekräfte zu den Luftpumpen, statt 101 nach (582. S. 339).

Von den 110 Luftbehältern werden nach (S. 339) 20 auf den Luftwagen und 45 auf jeden der zwei ihm folgenden Wagen geladen werden können. Die Nutzlast wird also noch über 1200 Ctr. betragen, statt 1400 Ctr. nach (S. 339); was aber keinen wesentlichen Unterschied macht, da die *stärkste* Ladung, auf welche gerechnet ist, nur selten vorkommt.

Die Kosten der Luftbehälter, der Dampfmaschinen zu den Luftpumpen und der Luftpumpen selbst, welche nach (583. S. 339) zusammen 143 840 Thlr. betragen, sind jetzt ebenfalls 1,325 mal so hoch anzuschlagen; die übrigen Kosten der Zugmaschinen von 90 000 Thlr. (583. 2.) dagegen steigen nicht in demselben Verhältnifs und es werden statt ihrer nur etwa 100 000 Thlr. anzusetzen sein. Dies giebt für die gesammten Anlagekosten

(46.) $143\,840 . 1{,}325 + 100\,000 = 290\,588$ Thlr.,

statt 233 840 Thlr. (583. S. 339).

Die Feuerungskosten der Dampfmaschinen zu den Luftpumpen (584. S. 339) steigen wieder auf das 1,325fache und betragen also

(47.) $24248 . 1{,}325 = 32128$ Thlr. statt 24248 Thlr.

Eben so die Erhaltungskosten der Luftbehälter, Dampfmaschinen und Luftpumpen von zusammen 4920 Thlr. nach (585. S. 340), wozu 6 pr. c. der übrigen Kosten der Zugmaschinen von 100000 Thlr. kommen. Dies giebt

(48.) $3920 . 1{,}325 + 6000 = 11194$ Thlr., statt 9320 Thlr. (585. S. 340).

Es ergiebt sich also jetzt, statt derjenigen in (§. 73. ***A.*** und ***B.*** S. 351), folgende Vergleichung der Kosten der Luftkraft und der Dampfkraft auf der Eisenbahn.

Die *Anlagekosten* für die ***Luftkraft*** sind hier nach (46.) . 290588 Thlr.
Für die ***Dampfkraft*** kommen nach (§. 73. ***A.***) zum Ansatz . 310000 –
Also betragen die Anlagekosten für die Luftkraft weniger 19417 Thlr.
statt 76150 Thlr. (§. 73. ***A.***)

Die *jährlichen Ausgaben* für die Luftkraft sind:

Für die Feurung der Dampfmaschinen zu den Luftpumpen, nach (47.), ... 32128 Thlr.

An Erhaltungskosten der Luftbehälter, Dampfmaschinen zu den Luftpumpen und der Luftpumpen selbst, nach (48.), . . 11194 –
Thut 43322 Thlr.
Davon gehen nach (§. 73. ***B.***) ab . . . . . 3000 –
Bleiben 40332 Thlr.
Für die Dampfkraft kommen nach (§. 73. ***B.***) zum Ansatz 45000 –
Bleibt an Ersparung gegen die Dampfkraft 4678 Thlr.
statt 14440 Thlr. (§. 73. ***B.***)

Die ***Kosten-Ersparung*** bei der Benutzung der Luftkraft statt der Dampfkraft würde also allerdings, falls die Vorzüge der Luftwagen *mit* Absperrung vor denen *ohne* Absperrung wirklich in dem Maafse weniger bedeutend sein sollten, als es nach dem Obigen aus der Gleichung (4.) folgt, *geringer* sein; aber sie ist, wie man sieht, noch keinesweges ***Null,*** sondern die ***Luftkraft*** kostet immer noch *weniger,* als die ***Dampfkraft.*** Dies war auch schon fast *ohne* besondere Nachweisung und Rechnung *vorauszusehen,* da in (§. 74. ***B.*** S. 353) der Abhandlung nachgewiesen ist, dafs, selbst dann, wenn man auf Luftwagen *mit* Absperrung ganz Verzicht thäte und die Wagenzüge durch Luftwagen *ohne* Absperrung fortziehen liefse (in welchem Fall dann die Gleichung (4.) *nichts* ändert), die Luftkraft nur erst *wenig* mehr als die

Dampfkraft und nur ungefähr *eben so viel* kosten würde, so dafs also eine wirkliche Kosten-*Ersparung* immer durch die Absperrung *sicher* zu erzielen ist.

23. Da nun aber alle übrigen in (§. 81. und 82. S. 372) nachgewiesenen Vorzüge der Kraft *mitgeführter* zusammengepreſster Luft zur Fortschaffung der Wagen auf Eisenbahnen vor allen andern Arten bewegender Kraft völlig unverändert bleiben, indem die Gleichung (4.) auf dieselben *gar keinen* Einfluſs hat, so bleibt auch die Behauptung in (§. 82. S. 375), dafs die Kraft mitgeführter zusammengepreſster Luft unter allen die beste und vortheilhafteste bewegende Kraft für Eisenbahnen sei, unerschüttert, und die obigen auf die Gleichung (4.) gestützten Erinnerungen gegen sie, stoſsen sie nicht um. Das End-Ergebniſs der Abhandlung des Herausgebers *bleibt* also; und das ist für die gute Sache der *Hauptpunct.*

---

24. Wir wollen uns nun auch über die Gleichung (4.) einige Bemerkungen erlauben.

Die Gleichung findet sich nicht in denjenigen der namhaftesten Schriften über Physik, die vor 5 Jahren, als der Herausgeber seine Abhandlung schrieb, bekannt waren, z. B. nicht in den Schriften von *Biot, Peclet, Pouillet, Dulong, Lamé* etc. Erst in den neuesten Schriften, z. B. in den Supplementen zu *Baumgärtners* Physik und in einer Abhandlung von *Clausius* in den Berichten der Berliner Akademie, findet sie sich ausgesprochen. Sie beruht aber, so viel dem Herausgeber bekannt, nicht auf den Ergebnissen unmittelbar auf ihren Ausspruch sich beziehender umfänglicher Versuche, sondern ist durch Schlüsse und nicht ohne Hypothesen, auch auf die *Newton*sche Theorie der Luftwellen sich beziehend, mit künstlichen Umwegen aus Versuchen hergeleitet, die mit denen über die Geschwindigkeit des Schalles durch Schätzung der Höhe der Schalltöne in Verbindung gebracht sind. Man könnte die Formel auch aus dem 3ten Capitel des 12ten Buches im 5ten Bande der „Mécanique céleste" von *Laplace* hernehmen. Aber hier ist bei den Versuchen von *Desormes, Clement, Welter* und *Gay-Lussac,* auf welche *Laplace's* Theorie Bezug nimmt, die Luft nur in geringem Grade ausgedehnt und zusammengepreſst worden. Die Gleichung (4.) beruht also nicht auf Ergebnissen unmittelbarer und hinreichend umfänglicher Versuche, sondern nur mehr auf Hypothesen und Schlüssen und ist daher *keinesweges fest* begründet. Auch scheinen die Physiker nicht ganz einig über diesen Gegenstand. Denn z. B. *Lamé* sagt

im 2ten Bande seines „Cours de physique. Paris 1836." S. 88 „Ainsi, par une „compression de $\frac{1}{267}$ de son volume, l'air doit s'échauffer de 0°,421 etc." Dieser Ausspruch, in Buchstaben ausgedrückt, giebt eine *andere* Gleichung, als die (4.). Sodann ist auch die Gleichung (4.) schon durch Das selbst, was sie giebt, wohl ein wenig zweifelhaft; z. B. in äufserer Luft von 0 Grad Wärme soll der Formel zufolge durch die Verdünnung bis auf Einviertel der Dichtigkeit schon eine Kälte von 120,7 Centigraden unter Null entstehen; durch die Zusammendrückung auf die vierfache Dichtigkeit eine Hitze von 216,4 Centigraden über Null. Wäre aber z. B. Letzteres der Fall, so müfste der metallne Stiefel einer Pumpe, welche die Luft mit schneller Bewegung des Kolbens stark zusammendrückt, durch oft wiederholte Kolbenschläge glühend werden: was der Erfahrung nach nicht geschieht. Es ist zwar allbekannt, dafs man durch schnelle und starke Zusammenpressung der Luft Feuerschwamm entzünden kann: aber dieses Feuerzeug beweiset noch nicht, dafs durch die Zusammenpressung ein hoher Wärmegrad hervorgebracht wird, indem die Entzündung des Schwamms ohne Mittel, welche sie befördern, nicht gelingt. Eben so ist also auch die grofse Erkältung der Luft durch starke und schnelle Ausdehnung zweifelhaft; besonders wenn diese Ausdehnung, wie in den Zugmaschinen mit zusammengedrückter Luft, nicht grade *augenblicklich* geschieht. Über das Maafs der Verminderung der Spannung der Luft bei schneller Ausdehnung, in Folge der dadurch erzeugten Kälte, fehlt es, so viel dem Herausgeber bekannt, noch ganz an Versuchen, die *unmittelbar, ohne Hypothesen und Schlüsse*, auf die Ermittlung desselben ausgingen. Es sollen neue, sehr umfassende Versuche über die Wirkung der Ausdehnung und Zusammenpressung der Luft und anderer Gase auf die Wärme und die Spannung derselben von *Regnault* zu erwarten sein; und diese werden erst zeigen, in wiefern die Gleichung (4.) richtig ist, oder geändert werden mufs.

Für den vorliegenden Fall, der Benutzung der Wirkung zusammengepreifster Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen, und zwar mit Absperrung in den Luftstiefeln, würde es nicht sowohl darauf ankommen, die durch die Ausdehnung der Luft nach der Absperrung erzeugte *Kälte* zu kennen, sondern insbesondere nur die Wirkung derselben auf die *Verminderung der Spannung*. Diese Wirkung zu erfahren, und zwar unmittelbar, würde es natürlich am besten sein, an einem wirklichen Luftstiefel mit Absperrung, und zwar nicht im Kleinen, sondern in der wirklich nöthigen Gröfse, mit einem Dynamometer zu messen, inwieweit die hervorgebrachte Kraft hinter derjenigen zurück-

bleibt, welche nach dem blofsen *Mariotte*schen Gesetze Statt finden müfste. Will man aber diesen, allerdings mehr Kosten und Vorbereitungen erfordernden Versuch nicht anstellen, so liefse sich auch etwa auf folgende, nicht kostbare Weise, wenigstens die Wirkung der schnellen Ausdehnung und Zusammenpressung der Luft auf die Verminderung und Verstärkung ihrer *Spannung* ermitteln.

25. Man bringe ein metallenes starkes verschlossenes Gefäfs von einem oder ein Paar Cubikfufs Inhalt, welches wir durch B bezeichnen wollen, vermittels einer gebogenen metallenen Röhre mit einem Manometer in Verbindung, der aus einer etwa 45 Zoll tief senkrecht hinab und von unten mittels einer Biegung wieder 60 Zoll senkrecht hinaufsteigenden, oben offenen gläsernen Barometerröhre besteht; die hinabsteigende Röhre soll durch R_1, die aufsteigende durch R_2 bezeichnet werden. In der Biegung unten, die ebenfalls von Metall sein mufs, befinde sich ein Hahn, dessen Öffnung dem Querschnitt der Manometerröhre gleich ist und der durch H_1 bezeichnet werden soll. An dem Gefäfs B befinde sich aufserdem ein Hahn H_2 von gröfserer Öffnung. Dieser letztere Hahn sei mit dem H_1 durch irgend eine Vorrichtung, z. B. durch eine gezahnte Stange, die in ein kleines Rad an jedem Hahn greift, so in Verbindung gebracht, dafs die beiden Hähne H_2 und H_1 völlig gleichzeitig und schnell geöffnet und geschlossen werden können, während jedoch der untere Hahn H_1 auch für sich allein bewegt werden kann. Die Manometer-Röhre sei in dem Maafse mit Quecksilber gefüllt, dafs dessen Oberfläche, wenn es in der ab- und in der aufsteigenden Röhre *gleich hoch* steht, in der absteigenden Röhre R_1 etwa 15 Zoll tief unter der obern Biegung der Röhre, also 30 Zoll hoch über dem untern Hahn R_1, und dann in der aufsteigenden Röhre R_2 30 Zoll tief unter der obern offenen Mündung steht; welcher Standpunct des Quecksilbers der *Nullpunct* des Manometers sein würde. Nun presse man, nachdem der Hahn H_2 verschlossen und der Hahn H_1 geöffnet worden ist, die in dem Behälter B befindliche atmosphärische Luft durch eine Luftpumpe allmälig um zwei Atmosphären Spannung mehr, also bis auf drei Atmosphären Spannung zusammen: so wird dadurch, wenn z. B. der Barometerstand 29 Zoll beträgt, das Quecksilber in der absteigenden Röhre R_1 um 29 Zoll unter den Nullpunct hinab- und in der aufsteigenden Röhre R_2 um 29 Zoll über den Nullpunct hinaufgetrieben werden. Nachdem Alles ins Gleichgewicht gekommen ist, öffne man rasch den Hahn H_2 am Gefäfs und lasse die zusammengepreifste Luft ausströmen, aber nur höchstens eine Secunde lang, keineswegs etwa bis die Spannung

der Luft im Behälter bis auf die der äufsern Luft hinabgesunken ist. Da die Ausströmung mit grofser Heftigkeit und Geschwindigkeit erfolgen wird, so wird schon in der bezeichneten sehr kurzen Zeit die Spannung der Luft sehr bedeutend abgenommen haben, z. B. von 3 bis auf $1\frac{1}{2}$ Atmosphären. Beim Wiederschliefsen des Hahns H_2 mufs, vermittels der oben erwähnten Vorrichtung mit den Rädern und der gezahnten Stange, auch der Hahn H_1 in der untern Biegung des Manometers geschlossen werden, beide Hähne vollkommen gleichzeitig; auch mufs darauf der Hahn H_1 für sich allein augenblicklich von Neuem geöffnet werden, während H_2 verschlossen bleibt. Während der Ausströmung der zusammengepreſsten Luft aus dem Behälter B durch den Hahn H_2 wird nun das Quecksilber in der aufsteigenden Röhre R_2 gesunken und in der absteigenden Röhre R_1 gestiegen sein; und zwar würde, wenn es sich blofs nach dem *Mariotte*schen Gesetz verhielte und keine Erkältung der Luft durch die plötzliche Ausdehnung, also auch keine daraus entstehende überschüssige Abnahme der Spannung Statt fände, in dem vorausgesetzten Fall, nemlich, dafs die Spannung der Luft in dem Behälter von 3 bis auf $1\frac{1}{2}$ Atm. Spannung abgenommen hätte, das Quecksilber in der aufsteigenden Röhre R_2 von 29 Zoll bis auf $7\frac{1}{4}$ Zoll über Null hinabgesunken und in der absteigenden Röhre R_1 von 29 Zoll bis auf $7\frac{1}{4}$ Zoll unter Null gestiegen sein. Aber da sicher die plötzliche Ausdehnung der Luft eine Erkältung und diese eine überschüssige Abnahme der Spannung zur Folge hat, so wird das Quecksilber in der aufsteigenden Röhre R_2 *noch tiefer* als auf $7\frac{1}{4}$ Zoll über Null hinabsinken und in der absteigenden Röhre R_1 *höher* als $7\frac{1}{4}$ Zoll über Null steigen. Der Unterschied desjenigen Standes des Quecksilbers über und unter Null, welcher sich wirklich ergiebt, von demjenigen, welcher sich nach dem *Mariotte*schen Gesetz ergeben müfste, mifst offenbar unmittelbar die durch die Erkältung der Luft hervorgebrachte *überschüssige* Abnahme ihrer Spannung; und aus dieser könnte man dann auch, wenn man will, nach dem *Gay-Lussac*schen Gesetz den Grad der Kälte selbst berechnen. Da der untere Hahn H_1 sogleich wieder geöffnet werden soll, so wird sich allmälig, so wie die plötzlich ausgedehnte und dadurch erkältete Luft im Behälter wieder den Wärmegrad der äufsern Luft annimmt, das Quecksilber in der aufsteigenden Röhre wieder heben und in der absteigenden Röhre senken, bis zu den Puncten über und unter Null, auf welchen es nach dem blofsen *Mariotte*schen Gesetze stehen mufs; und dieser Stand mifst dann, welche Spannung der Luft im Behälter nach der Ausströmung mit der anfänglichen Wärme noch übrig ge-

blieben ist. Der untere Hahn H_1 hat den Zweck, zu verhindern, dafs das Quecksilber vermöge der erlangten Geschwindigkeit in der absteigenden Röhre R_1, nicht *noch höher* hinaufsteigt, als es der überschüssigen Abnahme der Spannung gemäfs ist, so dafs also möglichst *Schwankungen* in dem Stande des Quecksilbers vermieden werden. Da nemlich der Hahn H_1 völlig gleichzeitig mit dem Ausströmungshahn H_2 verschlossen werden soll, so kann nur das in der *absteigenden* Röhre R_1 befindliche Quecksilber mit seiner erlangten Geschwindigkeit seine Bewegung fortsetzen, nicht das in der *aufsteigenden* Röhre R_2, welches sich gegen den Hahn H_2 *stöfst*. Aber die Fortsetzung der Bewegung des Quecksilbers in der absteigenden Röhre kann nur, wie sich leicht zeigen liefse, äufserst gering sein und nur eine ganz unmerkliche Zeit fortdauern, da der Masse des Quecksilbers nicht allein die Schwerkraft, sondern auch noch eine $1\frac{1}{2}$ Atm. starke Luftspannung *entgegenwirkt*. Es wird also auch nach Wieder-Eröffnung des Hahns H_1 eine nur unmerkliche Schwankung des Quecksilbers erfolgen. So also würde sich die durch die plötzliche Ausdehnung der Luft in Folge ihrer Erkältung entstehende überschüssige Abnahme ihrer Spannung *unmittelbar* messen lassen. Man sieht leicht, dafs auf ähnliche Weise auch die überschüssige *Vermehrung* der Spannung der Luft, in Folge ihrer *Erhitzung*, gemessen werden könnte, wenn man etwa aus einem zweiten Behälter, in welchem die Luft zusammengepreſst ist, dieselbe plötzlich in den oben angenommenen, jetzt blofs mit atmosphärischer Luft gefüllten, oder auch ausgepumpten Behälter eintreten liefse; desgleichen wieder die überschüssige *Verminderung* der Spannung der Luft, wenn man aus dem obigen, mit atmosphärischer Luft gefüllten Behälter dieselbe plötzlich in einen zweiten Behälter eintreten liefse, welcher verdünnte Luft enthält.

26. Was aber auch diese und andere Versuche ergeben mögen, und selbst wenn dieselben die noch nicht feststehende Gleichung (4.) völlig bestätigen sollten, so sind noch ferner bei dem vorliegenden Falle der Benutzung der Spannung zusammengepreſster Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen nnd der Absperrung in den Luftstiefeln, folgende weitere Umstände zu berücksichtigen, welche der Wirkung der plötzlichen Ausdehnung der Luft auf Verminderung der Spannung beide *entgegenwirken;* und man würde die Wahrheit verfehlen, wenn man *diese Umstände ihrerseits* aufser Acht liefse. Es sind folgende:

Erstlich. Die *Herstellung* der Wärme der Luft von aufsen her durch die Wände des Stiefels. *Wie schnell* dieselbe erfolgt, ist wohl noch nicht

ermittelt, und es kann ganz gut sein, dafs sie *sehr schnell* erfolgt; denn der Wärmestoff kann bei der Ausdehnung nicht entweichen, sondern nur gebunden werden, und kann also möglicherweise sehr schnell wieder frei werden.

Zweitens. Die *Reibung* des Kolbens am Stiefel, die, wenn der Kolben, wie es sein mufs, ganz aus Metall besteht, *sehr stark* ist und also eine starke Hitze erzeugt, die ebenfalls der Erkältung der Luft durch die Ausdehnung und folglich der überschüssigen Verminderung ihrer Spannung entgegenwirkt.

Alles das ist noch erst zu ermitteln und zu *messen;* und in solchen Rücksichten geschah es auch, dafs der Herausgeber (S. 17 Band. 22. dieses Journals) äufserte, seiner Meinung nach werde die Spannung der Luft durch die Erniedrigung der Temperatur nur wenig vermindert werden. Er beharrt einstweilen bei dieser Meinung und also auch im Wesentlichen bei den Ergebnissen seiner Rechnungen, bis *erwiesen* sein wird, dafs und inwiefern diese Ergebnisse geändert werden müssen; welcher Beweis, wie hier gezeigt, noch nicht sicher ist.

27. Es ist übrigens nur zu wünschen, dafs man durch die obigen Einwendungen sich nicht etwa bewegen lassen möge, die so sehr wünschenswerthe Benutzung der Spannkraft zusammengeprefster Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen aufzugeben. Glücklicherweise ist dazu hier noch durchaus kein *Grund* vorhanden, da, wie oben nachgewiesen, die Vortheile dieser Benutzung der Luft auch dann noch stehen bleiben würden, wenn selbst die Gleichung (4.) und die daraus gezogenen Folgerungen völlig richtig sein sollten; was aber, schon wegen nöthiger Berücksichtigung der Herstellung der Wärme von Aufsen und der Wirkung der Reibung, *unmöglich* ist.

28. Der Herr Verfasser verdient seinerseits Anerkennung und Dank für seine Erinnerungen gegen die Aufstellung des Herausgebers bei dem vorliegenden Gegenstande, in der Rücksicht, dafs auch diese Erinnerungen vielleicht dazu beitragen werden, die Bemühungen um die weitere Erörterung einer noch nicht hinreichend erledigten wichtigen physicalischen Frage anzuregen.

Berlin im Mai 1850.

4.

Über Leuchtthürme.

(Nach englischen, französischen und deutschen Quellen bearbeitet von Herrn Ingenieur *A. Hefs* zu Göttingen.)

Die auf dem Meere und in den Flufsmündungen, so wie an den Küsten aufgestellten Wahrzeichen für Schiffer sind entweder nur bei Tage sichtbar, oder sie dienen dem Seemanne hauptsächlich bei Nacht zur Auffindung der rechten Fahrt, oder zur Vermeidung gefährlicher Stellen. Zu den Wahrzeichen erster Art gehören die gewöhnlichen ***Tonnen*** oder ***Bojen***, für den Fall, wenn die zu bezeichnende veränderliche Stelle stets vom Wasser bedeckt und die Fahrt wegen der Enge, Krümmung u. s. w. des Fahrwassers nur bei Tage möglich ist. Auch wo der hemmende Gegenstand nur vorübergehend ist, bedient man sich zur Bezeichnung einer solchen Stelle der Bojen. In den englischen Gewässern werden auch versunkene Fahrzeuge, welche möglicherweise vorüberfahrenden Schiffen Schaden zufügen könnten, durch grüne, mit dem Worte „*Wreck*" bezeichnete Bojen bemerklich gemacht.

Die Form der ***Bojen*** ist verschieden. In England giebt es hauptsächlich zwei Arten. Die sogenannte ***Nun-Bouy*** hat eine doppelt paraboloïdische Form; die vertical schwimmende Tonne hat in der Mitte den gröfsten Durchmesser und man schneidet öfters das obere spitze Ende ab, um einen kleinen Mast oder ein Rahmenwerk einsetzen zu können. Solche Tonnen, von 10 bis 15 F. lang, kosten 158 bis 320 Thlr.; Tonnen eben der Art, von 21 bis 24 F. lang, wie auf dem ***Ribble*** und dem ***Tay***, kosten 527 bis 700 Thlr. Die sogenannte ***Can-Buoy*** ist beinahe kegelförmig und schwimmt auf der Seite; ihre Länge ist etwa 5 bis 8 F. und die Kosten sind 81 bis 135 Thlr. Am Ausflufs der ***Charente*** und ***Gironde*** bediente man sich abgestutzter conischer Bojen, deren hohler Theil 4,8 F. lang, der obere Durchmesser 5,1 F., der untere 1,6 F. war. Häufig legt man um die obere Fläche der Tonnen starke Ringe, um Fahrzeuge an dieselben befestigen zu können. Das Biegen der eichenen Stäbe nach der richtigen Form erfordert viel Geschick; die Auswahl des Materials mufs sorgfältig geschehen. Man prüft die Wasserdichtigkeit eben wie die der gewöhnlichen Tonnen. In England hat man auch Bojen

von Eisenblech; doch scheinen die hölzernen Tonnen besser zu sein. Die Farbe der Bojen ist gewöhnlich roth, weifs, oder schwarz; bisweilen haben sie auch zur Unterscheidung Streifen, oder andere einfache Zeichnungen. Damit bei nebligem Wetter die Tonnen nicht ganz nutzlos sein mögen, hat man an dieselben auch wohl Glocken angebracht, welche durch die schaukelnde Bewegung in Schwingung gebracht werden.

Sind die zu bezeichnenden Stellen nicht veränderlich, z. B. Felsen, und werden sie während der Ebbe auf einige Zeit trocken, so kann man statt der Bojen feste Wahrzeichen setzen. Dieselben bestehen entweder aus Säulen, oder Pfeilern von Stein, welche über das höchste Wasser hinausragen und an der Spitze leicht zu unterscheidende Formen haben; oder, wenn der Zugang zu ihnen schwierig ist, macht man ein Rahmenwerk aus gufseisernen Röhren, welches mit dem Felsen fest verbunden wird; oder man setzt auch wohl aus gufseisernen Tafeln einen Kegel zusammen, der von oben mit Gerölle gefüllt wird.

Fast eben so wichtig wie die Bojen und festen Wahrzeichen sind für den Binnenseefahrer die *Landzeichen;* nemlich auffallende Gegenstände am Ufer (Thürme, gröfsere Gebäude, Felsvorsprünge u. s. f.), nach welchen der Schiffer den Lauf seines Fahrzeuges richten kann. Auf sehr flachen oder einförmigen Ufern, welche dem Schiffer keine Puncte darbieten, nach welchen er sich richten könnte, werden kleine Thürmchen von Holz oder Stein, oder auch nur einfache Pfosten von Holz errichtet; mit grofsen, theils schwarz, theils weifs gefärbten Tafeln. Man kann diesen Zeichen eine beliebige Form geben, wenn sie nur dauerhaft und leicht zu erkennen sind. Auf den sich sehr ähnlich sehenden Ostfriesischen Inseln *Langeroog* und *Norderney* wurden z. B. im Jahre 1849 hölzerne sogenannte *Kaagen* errichtet, um dem Seefahrer das Erkennen dieser Inseln zu erleichtern. Der Kaag auf *Langeroog* hat die Form einer viereckigen Pyramide von 24 Q. F. Grundfläche und ist bis auf 32 F. hoch aus Holz gezimmert; die Axe, der sogenannte *Mäkler,* ragt noch 8 F. aus dem Zimmerwerk hervor. Der Kaag auf *Norderney* ist dem vorigen ähnlich, nur ist an dem Mäkler ein Lattenheck in Form eines gleichseitigen Dreiecks angebracht, dessen Grundlinie parallel mit der Basis und dessen Spitze in der Spitze der Pyramide liegt.

Leuchtschiffe und *Leuchtthürme* zeigen dem Seemanne, bei Tage als feste Wahrzeichen, bei Nacht als Leuchtsignale, den Weg. *Alan Stevenson* versuchte im Jahre 1845, die Bojen und festen Wahrzeichen durch einen Über-

zug mit einer leuchtenden Substanz auch zum nächtlichem Dienste tauglich zu machen; die Versuche hatten aber kein günstiges Ergebnifs.

Leuchtschiffe sind nöthig, wenn das Feuer eines *Leuchtthurms* auf dem Festlande zu entfernt sein würde und die Sandbänke keinen steinernen Bau tragen können. Die jährliche Erhaltung eines englischen Leuchtschiffs, den Lohn und Unterhalt der aus 11 Personen bestehenden Mannschaft eingeschlossen, wird zu 6660 Thlr. gerechnet; die Anschaffungskosten eines solchen Fahrzeuges, einschliefslich der Laterne, des Leucht-Apparats, der Anker, Ketten u. s. w. belaufen sich auf 33 300 Thlr. Die Laternen sind gewöhnlich achteckig und haben $5\frac{1}{2}$ F. im Durchmesser. Für feste Feuer sind 8 Argandsche Lampen mit parabolischen Reflectoren angebracht, welche letztere 12 Z. Öffnung haben; Drehfeuer haben dagegen nur 4 Lampen mit Reflectoren.

Die *Leuchtthürme* sind immer besser, als *Leuchtschiffe*, wenn es irgend möglich ist sie auszuführen; denn durch sie wird nicht allein der Schiffahrt eine bedeutend gröfsere Sicherheit gewährt, sondern die laufenden Ausgaben dafür sind auch viel geringer.

Die erste Frage bei dem Entwurfe eines Leuchtthurms ist, ob man seine Standfestigkeit von der *Cohäsion*, oder von dem *Gewichte* des Bauwerks abhängig machen solle. Das letztere scheint besser, weil sich dann mit weniger Schwierigkeit von den in der Natur gemachten Beobachtungen auf die Wirkungen, welche die Elemente auf das Bauwerk ausüben, schliefsen läfst. Je gröfser die Ähnlichkeit ist zwischen den beobachteten Fällen und den Verhältnissen bei dem Bauwerke: desto leichter und richtiger wird der Vergleich. Die Stabilität durch *Masse* hat aber aufserdem noch den grofsen Vortheil, dafs sie stets unverändert *dieselbe* bleibt, während die Stabilität durch *Cohäsion*, durch das Lockerwerden der Verbindungen, welches wegen der fortwährenden Erschütterungen solcher Bauwerke auch bei der genausten Herstellung nicht zu vermeiden ist, mit der Zeit *abnimmt*. Über die Natur und Gröfse der Kräfte, welche ein den Wellen ausgesetzter Leuchtthurm zu ertragen hat, ist im Ganzen nicht viel bekannt. Man hat noch verhältnifsmäfsig wenig Versuche gemacht, um die Kraft der ungebrochenen Wellen zu schätzen; und noch weniger ist irgend Etwas über die complicirten Veränderungen dieser Kräfte bekannt, welche durch Untiefen und hervorragende Felsen entstehen. *Minard* (Cours de construction des ouvrages hydrauliques des ports de mer S. 19) giebt folgende Thatsachen an, aus welchen sich mit Hülfe einer kleinen Rechnung die Kraft der Wellen *annähernd* schätzen läfst. Die mit Béton gefüllten Kasten, welche

man zum Schutz des bekannten Cherbourger Dammes setzte und deren jeder 295 Ctr. wog, wurden öfters durch den Stofs der von den heftigen Nordwinden getriebenen Wellen *fortgeschoben*. Setzt man den Reibungscoëfficienten von Holz auf Stein = 0,6, so beträgt die Kraft der Wellen 177 Ctr., und da die gestofsene Fläche 22,84 Quadratfufs war, die Kraft der Wogen auf den Quadratfufs 770 Pfd. Während eines Sturmes im November 1843 wurde ein Block von 10,8 F. lang, 6,37 F. breit und 4,78 F. hoch, welcher mit seiner gröfsten Fläche auf der ebenen Bétonschicht des Hafendammes von Algier, 13 F. hoch über dem Niveau des Meeres lag, eine bedeutende Strecke weit von den Wellen zurückgeworfen. Das Gewicht des Blocks war 478,9 Ctr. Nimmt man 0,8 als Reibungscoëfficient an, so war die Wirkung der Wellen 383 Ctr., mithin, da die getroffene Fläche 51,8 Quadratfufs hielt, die auf den Quadratfufs wirkende Kraft 740 Pfd. *Minard* wünscht, dafs der Druck, welchen die Blöcke, von den Wellen überschüttet, auf ihre Unterlage ausüben, näher untersucht werde, da sie, vom Wasser eingehüllt, einen Theil ihres Gewichts verlieren und mithin geringeren Widerstand leisten; man würde alsdann eine noch geringere gröfste Kraft der Wellen finden; was noch mehr von den weiter unten folgenden Beobachtungen abweicht; doch dürfte auch nur eine mittelmäfsige Genauigkeit, auf diesem Wege die Kraft der Wellen zu messen, nicht zu erreichen sein, da der Reibungscoëfficient sich nicht genau angeben läfst.

Das erste Instrument (ein sogenannter *Marine-dynamometer*), um die Kraft der Wellen *unmittelbar* zu messen, gab *Thomas Stevenson* an. Dasselbe besteht aus einer kurzen geschlossenen Röhre von gegossenem Eisen, welche an der äufsern Seite, parallel mit der Axe, zwei Flantschen, jede mit zwei Öffnungen für Bolzen hat, um das Werkzeug an den Felsen zu befestigen. An die Flantsche, welche sich vorn an dem Cylinder befindet, ist eine Deckplatte geschraubt, welche vier Löcher zu Führungen hat und an welcher innen das eine Ende einer starken Feder befestigt ist. Die vier durch die beiden Stirnplatten des Cylinders gehenden Führungsstäbe tragen vorn eine Scheibe, gegen welche die Wellen stofsen, die Stäbe zurückdrängen und die erwähnte Feder, welche mit dem andern Ende an einer die Stäbe verbindenden Scheibe befestigt ist, verlängern. Eine Scale auf dem hintern Theile der Stäbchen, in Verbindung mit ledernen Ringen, welche beim Hindurchgehen der Stäbe durch die Hinterwand zurückgeschoben werden, zeigt den Grad der auf die Scheibe ausgeübten Kraft an; durch Öffnung einer kleinen Thür kann man den Stand der ledernen Ringe erkennen. Die Eintheilung der Stäbe geschieht mit Hülfe einer

vorsichtigen Belastung der vordern Scheibe, welcher man 3 bis 9 Z. und gewöhnlich 6 Z. Durchmesser giebt; die Kraft der Federn ist 10 bis 50 Pfd. für jeden Achtelzoll ihrer Verlängerung. Der Apparat wird ungefähr in Dreiviertel der Fluthhöhe und so angebracht, dafs nicht etwa die ihn treffenden Wellen durch Untiefen oder Felsen schon vorher einen Theil ihrer Kraft verloren haben.

Im Jahre 1842 wurden mit diesem Instrumente verschiedene Beobachtungen auf der Insel *Little Ross* in der Irischen See angestellt. Vom April 1843 an machte man auf dem *Skerryvore*- und den benachbarten Felsen ebenfalls Beobachtungen; dasselbe geschah 1844 auf dem *Bell-Bock*. Die bekannt gewordenen Resultate sind folgende:

Im Atlantischen Ocean fand man in den fünf Sommermonaten 1843 und 1844 durchschnittlich einen Druck der Wellen von 611 Pfd. auf den Quadratfufs; die sechs Wintermonate derselben Jahre gaben durchschnittlich 2086 Pfd. auf den Quadratfufs. Auf dem *Skerryvore* fand man am 29. März 1845 bei einem sehr heftigen Westwinde einen Druck von 6083 Pfd. auf den Quadratfufs. Dies war das Maximum, welches in mehreren Jahren beobachtet wurde; so wie 214 Pfd. auf den Quadratfufs am 13. Febr. 1844 das Minimum. Wie grofs der Einflufs der Höhe ist, in welcher sich der Apparat befindet, zeigt die Vergleichung einiger Beobachtungen am *Skerryvore*. Das Instrument II. war einige Fufs unter I. angebracht, und dadurch wurde die Kraft der Wellen schon aufserordentlich vermindert; es fand sich 1845

am 7. Jan. für I. 4182 Pfd. auf den Q. F., für II. 1714 Pfd. auf den Q. F.,
am 5. Febr. - I. 3042 - - - - - - - II. 856 - - - - - -
am 29. März - I. 6083 - - - - - - - II. 2856 - - - - - -

In der ruhigeren *Irischen* See fand man im Jahre 1842, in der Beobachtungszeit vom 25. April bis 9. August, ein Maximum von 840 Pfd. am 24. Juni und ein Minimum von 15 Pfd. auf den Quadratfufs am 25. April; jedoch sind diese Daten verhältnifsmäfsig zu gering, da das Wetter sehr günstig war. Auf dem *Bell-Rock* in der *Nordsee* fand man am 28. März 1845 für das Minimum 599 Pfd. und am 9. October 1844 für das Maximum 3013 Pfd. auf den Quadratfufs. Diese Beobachtungen umfassen jedoch nur den kurzen Zeitraum vom 15. Septbr. 1844 bis 30. März 1845. (S. Trans. of the Roy. Soc. Edin. vol. XVI.) Es ist klar, dafs die Beobachtungen noch bei weitem nicht die Ausdehnung haben, um dem Ingenieur bei seinem Bauen im Meere sicher zu leiten. Bis jetzt läfst sich die Kraft der Wellen nur nach genauer Beobachtung ihrer Er-

scheinung unter verschiedenen Umständen, ihrer Gröfse und Geschwindigkeit, ihrer Höhe im Verhältnifs zum Felsen, der Höhe des aufspritzenden Schaums, und der Felsmassen, welche von den Wellen fortbewegt werden und welche denselben widerstanden haben, beurtheilen. Fafst man alle diese Erscheinungen zusammen und vergleicht sie mit denen an andern Orten, wo Bauwerke den Stofs der Wellen ohne Schaden ertragen, so lassen sich daraus Schlüsse ziehen, um dem Bauwerke solche Maafse zu geben, dafs es durch die Wellen nicht angegriffen wird. Doch hüte man sich wohl, den Grenzen der Stabilität nahe zu kommen, so lange noch keine genauere Kenntnifs des Gegenstandes vorhanden ist.

Hat man z. B. einen 25 F. im Durchmesser haltenden, 10 F. hohen Cylinder von Granit, welcher etwa 380 Tonnen wiegt, entweder aus einem Felsblock, oder doch so verbunden, dafs er ein Ganzes ausmacht und nimmt nun für die Kraft der Wellen 4335 Pfd. auf den Quadratfufs an, so ergiebt sich ein Druck auf den Cylinder von 484 Tonnen; wofür man nach Versuchen von *Bossut* 242 Tonnen setzen kann, da die Hälfte des Drucks an der convex-cylindrischen Oberfläche nicht zur Wirkung gelangt. Im ungünstigsten Fall, dafs der Körper ganz vom Wasser eingehüllt wird, also dadurch 140 Tonnen an Gewicht verliert, kann derselbe nur mit einem Gewichte von 240 Tonnen den Wellen widerstehen. Beim Drehen des Körpers sind die Hebel-Arme 5 F., und 12,5 F., oder 10 F. und 25 F., also ist das Moment für die Wellen 242.10 und das für den Cylinder 240.25, woraus folgt, dafs das *Umkanten* nicht möglich ist. Es bleibt aber noch zu untersuchen, ob nicht der Cylinder auf der Grundfläche *gleiten* wird. Setzt man nach *Rondelet* den Reibungscoëfficienten von Stein auf geebnetem Felsen 0,7, so werden noch 168 Tonnen der Verschiebung entgegenwirken, während die Kraft der Wellen 242 Tonnen beträgt. Diese überschüssige Kraft wird aber durch den Mörtel und durch die Versenkung des Fundaments in den Felsen aufgehoben. Der massive Theil des Leuchtthurms von *Edystone* übertrifft nicht viel an Masse diesen so eben angenommenen Cylinder und giebt die Bestätigung, dafs seine Stabilität hinreichend sein würde, während ein Cylinder von 300 Tonnen, nach *Lyell*, noch von den Wellen hinabgerissen wurde. Es möchte also ungefähr innerhalb dieser Grenzen die zur Stabilität nöthige Masse in stürmischen Meeren anzunehmen sein. Hat der Thurm einen andern als runden Querschnitt, so ist der Druck auf die Seiten gröfser. Er würde nach den obigen Annahmen für ein Parallelepipedum und für einen Cylinder von demselben Durchmesser,

wie die Seite des Querschnitts des Parallelepipedums, doppelt so grofs sein. Für Thürme, welche in jeder Richtung den Wellen ausgesetzt sind, ist der kreisförmige Querschnitt unbedingt rathsam; auch ist derselbe für alle Thürme dieser Art zweckmäfsig, weil die von den Orcanen emporgeschlenderten Wellen von den verschiedensten Seiten auf den Thurm andringen. Bei hohen Leuchtthürmen kommt die Wirkung des *Windes* ebenfalls in Betracht. *Fresnel* stellte darüber besondere Untersuchungen an. Er betrachtete den Thurm als einen an einem Ende befestigten elastischen Körper, auf welchen, normal auf die Längs-Axe, Kräfte wirken. Für den gröfsten Druck des Windes wurde bei der Untersuchung 58 Pfd. auf den Quadratfufs angenommen.

Da Körper um so standfester sind, je tiefer ihr Schwerpunct liegt, so ist theoretisch der *Kegel* die beste Form für einen Leuchtthurm. Da aber der Angriff der Wellen in den höheren Theilen des Thurms sehr abnimmt, so würde man für die verschiedenen Theile auch verschiedene Kegel annehmen müssen. Die Übelstände bei der Aneinanderfügung solcher Stücke leiten von selbst auf eine, alle Kegelstücke berührende Curve hin, und so gab man denn (zuerst auf dem *Edystone*) der äufseren Fläche die Form, welche aus Umdrehung einer gegen die Axe convexen Curve entsteht, die nach oben zu parallel wird. Näheres über diesen Gegenstand findet man in der später folgenden Beschreibung des Leuchtthurms von *Skerryvore*.

Der Stoff zum Bau eines Leuchtthurms kann nach dem Vorhergehenden nicht zweifelhaft sein. *Werkstücke* werden mit ihrem grofsen Gewichte und der verhältnifsmäfsig geringen Oberfläche, die sie dem Angriff der Elemente entgegensetzen, die gröfste Stabilität besitzen. *Holz* ist in früheren Zeiten einigemal benutzt worden, aber der Feuergefährlichkeit wegen nicht passend. Eine sonderbare Verbindung von Holz und Steinen zeigt (Taf. I. Fig. 1). Es wird davon bei der Beschreibung des Leuchtthurms auf dem *Edystone* weiter die Rede sein. *Eiserne* Thürme haben die Übelstände, welche oben für die Stabilität durch Cohäsion bezeichnet wurden.

Die *Entfernung*, aus welcher das Leuchtfeuer sichtbar sein soll, mufs sich aus den örtlichen Verhältnissen ergeben und ist bei dem Entwurfe eines Leuchtthurms vor Allem festzustellen, indem von derselben die Höhe des Thurms und also auch die übrigen Einrichtungen abhangen. Nach der Krümmung der Erde läfst sich, mit Berücksichtigung der atmosphärischen Strahlenbrechung, leicht die Höhe finden, welche das Leuchtfeuer über dem Auge des Beobachters haben mufs, um aus einer bestimmten Entfernung gesehen zu werden. Die

folgende, von *Stevenson* berechnete Tafel giebt die Sichtbarkeit in Englischen Meilen und die Differenz der Höhe zwischen dem Auge des Beobachters und der Mitte der Laterne in Englischen Fufsen an. Die in *Wiebeking's* Wasserbaukunst Bd. II. nach *Löwenörn* mitgetheilte Tafel giebt fast Dasselbe.

Höhe in Engl. Fufs.	Sichtbarkeit auf Engl. Meilen.	Höhe in Engl. Fufs.	Sichtbarkeit auf Engl. Meilen.	Höhe in Engl. Fufs.	Sichtbarkeit auf Engl. Meilen.	Höhe in Engl. Fufs.	Sichtbarkeit auf Engl. Meilen.
5	2,958	55	9,811	110	13,874	450	28,062
10	4,184	60	10,246	120	14,490	500	29,580
15	5,123	65	10,665	130	15,083	550	31,024
20	5,916	70	11,067	140	15,652	600	32,403
25	6,614	75	11,456	150	17,201	650	33,726
30	7,245	80	11,832	200	18,708	700	35,000
35	7,826	85	12,196	250	20,916	800	37,416
40	8,366	90	12,549	300	22,912	900	39,836
45	8,874	95	12,893	350	24,748	1000	41,833
50	9,354	100	13,228	400	26,457		

Nachdem die *Höhe* des Thurms festgesetzt ist, kommt es darauf an, die nothwendigen *Räume* zu bestimmen; die sich hauptsächlich nach der *Lage* des Thurms richten. Denn steht z. B. das Bauwerk auf einem Felsen und ist die Verbindung mit dem Ufer öfters auf längere Zeit gehemmt, so mufs natürlich eine gröfsere Menge von Vorräthen aufbewahrt werden können. An sehr unzugänglichen Orten müssen drei Wächter angestellt, mithin der Wohn- und Schlafräume mehrerer vorhanden sein; auch müssen auf solchen Thürmen die leicht zerbrechlichen Beleuchtungs-Vorrichtungen doppelt, ja dreifach vorräthig sein, um jede Unterbrechung der Beleuchtung zu verhindern.

Man kommt jetzt immer mehr davon zurück, die Wohnungen der Wächter *in den Thurm* zu legen, da der fast unvermeidliche Staub der Maschinerie auf dem Leuchtthurme sehr nachtheilig ist. Leider aber ist es öfters nicht wohl möglich dies auszuführen, und dann müssen die obern Räume im höchsten Grade reinlich gehalten werden. Auf Englischen Leuchtthürmen hat man wohl zu diesem Zweck den Boden der Wachtstube mit eisernen Tafeln belegt, und auf dem Thurm von *Brehat* hat man, um die gröfste Reinlichkeit zu erlangen, fast das ganze Wachtzimmer, in welches die Maschinerie hinabreicht, mit polirten Marmortafeln belegt.

Die im Leuchtthurm nöthigen Räume sind folgende. Die Laterne, mit einer äufsern Galerie; unter derselben ein heizbares Zimmer, das sogenannte Wachtzimmer; ein Ölmagazin, welches, wo möglich, etwas hoch liegen mufs, um den täglichen Transport des Öls zu erleichtern; Wasserbehältnisse, Wohnungen

und Schlafkammern für die Wächter; Vorraths- und Brennstoffräume; eine Küche und ein Zimmer für den Aufsichts-Beamten. Liegt der Thurm so, dafs sich die Wohnungen und Magazine in einen Unterbau bringen lassen, so verbindet man entweder denselben mit dem Thurme, oder man läfst diesen von dem Unterbau umschliefsen. Liegen die Wohnräume im Thurme, so vermittelt man die Passage durch einzelne Stiegen; wird der Thurm aber nicht bewohnt und enthält keine Magazine, so ist eine Wendeltreppe nöthig: entweder mit massiver Spindel, oder um einen 5 bis 6 F. im Durchmesser haltenden hohlen Cylinder gelegt, der dann zugleich zum Aufwinden der Materialien dienen kann. Der Eingang, durch eine starke Thür geschützt, mufs so hoch liegen, dafs er nicht von den Wellen erreicht wird.

Eine bedeutende, von *Alan Stevenson* eingeführte Verbesserung des Baues der Laterne besteht darin, die das Glas haltenden Stäbe nicht vertical, sondern diagonal zu stellen. Man sieht dieses (Taf. II. Fig. 2 und Taf. III. Fig. 10). Dadurch wird nicht allein die gänzliche, oder fast gänzliche Verdunklung verticaler Streifen verhindert, sondern die ausströmende Lichtmenge wird vermehrt, weil wegen der gröfsern Steifheit und Stärke der Rahmen dieselben schwächer sein können. Das Glas zwischen den Rahmen ist in der dreieckigen Form ebenfalls stärker. Um den Wächtern das Reinigen der obern Gläser, welches beim Schneewetter oft nothwendig ist, zu erleichtern, ist über den untern Glasscheiben ein schmaler Gang angebracht, welcher auf Vorsprüngen, die an den untern Rahmen angegossen sind, befestigt wird. Über der zweiten Reihe Scheiben sind Ringe zu Haltpuncten für den Wächter bei stürmischem Wetter. Da das Rahmenwerk der Laterne oft und wiederholt mit Ölfarbe angestrichen werden müfste, was Beschwerlichkeiten und Gefahren haben würde, so macht man besser das Rahmenwerk aus Kanonenmetall und die Kuppel aus Kupfer. Eine solche Laterne erster Gröfse, von 12 F. im Durchmesser und 10 F. hoch, mit $\frac{1}{4}$ Z. dicken Glastafeln, kostet etwa 8400 Thlr. Beim Einsetzen des Glases ist grofse Sorgfalt nöthig, damit nicht bei heftigen Winden durch Erschütterungen der Laterne die Scheiben zerbrechen. Die Furchen, in welche das Glas eingefugt wird, sind $\frac{1}{2}$ Zoll breit, um für den Kitt noch hinreichenden Raum zu lassen. Zwischen Glas und Rahmen werden schmale Streifen von Blei oder Holz angebracht, damit das Glas nie mit dem unnachgiebigen Rahmen in Berührung komme. Einige Glasscheiben, welche so vorbereitet sind, dafs sie in wenigen Augenblicken die Stelle zerbrochener ersetzen können, müssen immer vorräthig sein. Kleine Steine, welche von den

heftigen Winden gegen die Laterne geschleudert werden, oder Seevögel, welche in stürmischen Nächten gegen das Feuer fliegen, beschädigen die Laterne häufig; bedeutend gröfser noch ist der Verlust an Glasscheiben, wenn der Leuchtthurm, wie z. B. der auf dem *Chersonès*, (s. *Kohl*, Reisen in Südrufsland) an einem Orte steht, den die über das Meer kommenden ermatteten Zugvögel zuerst erreichen.

Zur Erlangung eines steten und wirksamen Lichts ist die Lüftung der Laterne nothwendig; ist sie unzureichend, so werden die Seiten mit Wasser bedeckt, welches durch die Berührung der aufsteigenden heifsen Luft mit kälterer niedergeschlagen wird; das dadurch verdunkelte Glas vermindert die Leuchtkraft. Auf den Schottischen Leuchtthürmen hat man in den Mauertheilen, auf welchen die Laterne steht, Ventilatoren angebracht, welche nach Belieben geöffnet und geschlossen werden können; oben in der Kuppel ist ebenfalls eine Öffnung, welche, damit es durch dieselbe nicht einregne, durch ein kleines Dach geschützt ist; die Thür, welche auf den Balcon führt, dient ebenfalls, mehr oder weniger geöffnet, als Ventilator und hat einen Schubriegel, welcher, in dazu passende Vertiefungen des Balcons greifend, die Thür in beliebiger Stellung festhalten kann. *Faraday* führte auf den englischen Leuchtthürmen einen Ventilator ein, aus kupfernen Röhren von 4 Z. im Durchmesser bestehend, die am untern Ende in einen $1\frac{1}{2}$ Z. langen Kegel von $5\frac{1}{2}$ Z. untern Durchmesser auslaufen. Man schiebt jede dieser Röhren etwa $\frac{1}{2}$ Z. in den Kegel der obern Röhre hinein und befestigt sie an dieser Stelle; die Röhre des Zugglases wird ebenfalls $\frac{1}{2}$ Z. in den Kegel der untern Röhre hineingeschoben; die obere Röhre reicht bis zum Scheitel der Kuppel. Der von oben eintretende Wind kann so nie bis zur Flamme gelangen; welche nun, auch bei dem stärksten Winde, ruhig brennt.

Was oben bemerkt, dafs in dem Wachtzimmer die gröfste Reinlichkeit sein mufs, ist umsomehr in dem Leuchtraume selbst nothwendig. Alle Theile des Leucht-Apparats, sowohl Linsen als Reflectoren, müssen vom Staube befreit werden, ehe man sie abwäscht oder polirt, weil sie sonst leicht Ritzen bekommen. Zum Poliren der Reflectoren nimmt man feinstes Polirroth, welches mit dem weichsten Gemsleder aufgerieben wird. Gewöhnlich mufs aber das Metall mit trocknem, weichem und reinem Leder ohne Polirpulver geputzt werden. Die Linsen und Glasspiegel werden mit Weingeist gereinigt, indem man ihre Oberfläche mit Leinwand, in Weingeist getaucht, abwäscht. Dies Glas wird mit feinem und trocknem Leinen abgerieben und dann der Glanz

mit feinem und sehr reinem Gemsleder hervorgebracht. Selten ist Polirroth nöthig, um die Politur herzustellen.

Der Bau der Leuchtthürme auf dem festen Lande unterscheidet sich von dem der andern nicht wesentlich. Die Construction der Leuchtthürme auf Klippen im Meere hat indessen nach den örtlichen Verhältnissen mit so eigenthümlichen Schwierigkeiten zu kämpfen, dafs sich darüber nicht wohl *Allgemeines* sagen läfst. Es wird am besten sein, einige berühmte Leuchtthürme, welche unter den schwierigsten Umständen errichtet wurden, zu beschreiben. Ich wähle dazu die Leuchtthürme auf dem *Edystone* und den erst vor einigen Jahren von *Alan Stevenson* errichteten Leuchtthurm auf dem *Skerryvore* Felsen, an der Westseite von Schottland. Da es jedoch angemessen sein dürfte, diese längeren Beschreibungen erst nach dem Capitel über die *Beleuchtung* zu geben, so sollen hier noch erst die berühmteren Leuchtthürme des Alterthums, einige französischen Leuchtthürme u. s. f. kurz beschrieben, so wie einige Notizen über den Bau derselben gegeben werden.

Der berühmteste Leuchtthurm des Alterthums war der auf der Insel *Pharos*, vor dem Hafen von *Alexandrien*. Er wurde 283 v. Chr. G. von *Sostratus* erbaut; aus einem weifsen, sehr harten Steine. Der Thurm soll nach alten Schriftstellern 531 F. hoch gewesen sein; die Gröfse seines viereckigen Querschnitts ist nicht näher bekannt. Das Feuer soll 14700 Rheinländische Ruthen weit sichtbar gewesen sein. Die Beleuchtung geschah wahrscheinlich durch ein freies Holzfeuer. Man hat freilich aus einer Stelle des *Plinius*, wo derselbe von der Verwechslung des entfernten Feuers mit dem Lichte eines Sterns spricht, schliefsen wollen, dafs schon damals Lampen gebraucht wurden, doch ist so wenig Zusammenhangendes und Zuverlässiges über dieses von den Alten für ein Weltwunder gehaltene Gebäude bekannt, dafs sich davon nichts Gewisses sagen läfst. Über den Zerfall des Thurms haben sich keine Nachrichten erhalten; indessen vermuthet man, dafs er durch ein Erdbeben zerstört wurde. In dem von den Französischen Gelehrten herausgegebenen Werke „Description de l'Egypte" findet man, dafs nur noch einige Pfeiler, vielleicht die Reste eines Theils der Gründungen oder Vergröfserungen des Plateau's, auf welchem das Gebäude stand, bei ruhigem Meere unter dem Wasser sichtbar sind. Der Thurm mag 1600 Jahre gestanden haben. In der Nähe von *Alexandrien* ist jetzt ein neuer Leuchtthurm erbaut.

Als ältere Leuchtthürme werden noch die am Ausflufs des *Guadalquivir* und in der Nähe von *Corunna* erwähnt; in *Dover* und *Boulogne* sollen vor

Zeiten Leuchtthürme gewesen; so wie auch bei *Holywell* und an der Küste von *Norfolk*.

Der Leuchtthurm von Cordouan, am Ausflufs der *Garonne*, wurde in den Jahren 1584 bis 1610 von *Louis de Foix* erbaut und bekam in der Grundfläche 130,9 F. Durchmesser. Bis auf 7,76 F. hoch wurde das Werk ganz massiv aufgeführt; dann brachte man Keller und Cisternen so hoch an, dafs die das Gewölbe bedeckende Plateform 15,5 F. über der Grundfläche lag; der Durchmesser des Thurms war hier, wegen der bedeutenden Böschung, nur noch 121,25 F. Die Treppe legte man 3,88 F. über die Felssohle, mit welcher sie durch eine hölzerne Leiter verbunden war und führte sie durch die volle Masse bis zur Plateform; der Eingang wurde durch starke hölzerne Thüren geschlossen. Die Plateform ward von einer 12,12 F. dicken Mauer umgeben, so dafs in der Mitte ein Raum von 97 F. im Durchmesser blieb. Von diesem nahm man den mittleren Theil von 48,5 F. Durchmesser zur Basis des Thurms, der sich nun 111,5 F. hoch bis zur untern Fläche der Laterne und 141,6 F. hoch bis zur Spitze derselben erhob. Der Raum zwischen Thurm und Aufsenmauer diente theils zum Vorrathshause, theils zur Wohnung für vier Wärter. Dieselben erstiegen den Thurm auf einer aufsen und in der Dicke der Mauer angebrachten Treppe. Der Thurm hat verschiedene Baustyle; die untere Halle ist dorisch, das darüber gelegene Gemach des Königs jonisch, die Capelle, welche unter der Laterne liegt, korinthisch und die Laterne selbst in gemischtem Baustyl; aufserdem finden sich noch einige Anklänge aus der gothischen Baukunst. Der eigentliche Zweck des Gebäudes ist durch den Baustyl sehr wenig angedeutet, und es scheint fast, als ob das Feuer in der kleinen Laterne nur eine Zugabe sei. Das Feuer in der gewölbten Laterne wurde zuerst mit Eichenholz, dann mit Steinkohlen unterhalten, von welchen letztern man in jeder Nacht 200 bis 300 Pfd. verbrauchte. Nachdem der Thurm 50 Jahre in Gebrauch gewesen war, mufste man die Laterne und Kuppel abtragen, da sie durch das Feuer stark beschädigt waren. Man ersetzte sie durch eine eiserne Kuppel; später traten an die Stelle des Kohlenfeuers zwölf Lampen mit parabolischen Spiegeln, welche, je drei in einer horizontalen Ebene, durch ein Uhrwerk herumgedreht wurden. Die *Fresnel*'sche Beleuchtung wurde zuerst auf diesem Thurme im Jahre 1822 benutzt.

In den Jahren 1772 bis 1777 wurden am Ausflufs des *Humber*flusses zwei Leuchtthürme erbaut, deren gröfster von der Bodenfläche bis zur Mitte des Feuers 90 F., der kleinere 50 F. hoch war; der letztere wurde jedoch

bald darauf von den Wellen zerstört und durch ein auf einem transportablen Gerüste angebrachtes Kohlenfeuer ersetzt. Die obere Aufsicht des Baues hatte *Smeaton*, welcher auch in seinem berühmten Werke über den *Edystone*-Leuchtthurm den Bau beschreibt. Der Baugrund war grober Sand und zur Gründung diente ein Pfahlrost. Das Gebäude hat sieben über einander liegende Räume, nebst der Laterne. Unten in dem gewölbten Keller werden die Kohlen gelagert; darüber ist die Werkstätte eines Schmieds und eine Winde zum Heben der Kohlen; dann kommt ein leerer Raum, das Wohnzimmer und darüber zwei Kammern. In dem folgenden Raume, der überwölbt ist, befindet sich der aus eisernen Tafeln zusammengesetzte Aschenfall. Acht Röhren, welche je nach dem Winde geschlossen werden können, bringen den nöthigen Zug hervor, um das Steinkohlenfeuer, welches über der von dem Aschenfall ausgehenden Röhre brennt, anzufachen; bei ruhigem Wetter entsteht der Luftzug schon dadurch, dafs die herabfallenden Steinkohlenbrocken und die heifse Asche die Luft des Aschenfalls erhitzen und dadurch das Aufsteigen, also die Strömung der Luft durch den Rost befördern. Die über Nacht herabfallende Asche und die Steinkohlenbrocken werden jeden Morgen durch eine kleine, nach der Aufsenseite des Thurms führende Röhre hinausgeschafft; das Herbeibringen der Steinkohlen geschieht durch eine gröfsere Röhre, welche durch alle Stockwerke geht. Die Eckrippen der Laterne sind aus gegossenem Eisen und ähnlich wie auf dem *Edystone* angeordnet; die Bedeckung der Laterne besteht aus steinernen Tafeln, welche in der Mitte die Abzugsröhre für den Rauch lassen. Das Feuer soll bei hellem Wetter 6 Deutsche Meilen weit sichtbar sein. Das auf dem beweglichen Gerüste, 56 F. hoch über dem Boden befindliche Leuchtfeuer brennt in einer eisernen Kiste, welche um eine Axe in jeder Lage horizontal bleibt; durch Seil und Welle wird das Feuer hinabbewegt, um Kohlen aufzuwerfen. Wahrscheinlich wird man jetzt alles Dies verbessert und namentlich das Steinkohlenfeuer in ein Lampenfeuer verwandelt haben.

Die *beiden Leuchtthürme unweit dem Havre* (s. *Wiebeking* Wbk. Bd. II. S. 177) haben Argand'sche Lampen und Reflectoren. Sie stehen 47 Toisen vom Meeresufer und 200 F. weit von einander entfernt; die Lampen hangen 380 F. hoch über dem niedrigen Wasser. Dieser 1775 ausgeführte Bau wurde von *Du Chesne* geleitet. Die Leuchtkuppel hat 9 F. im Durchmesser; die Rückwände der Lampenbüchsen stehen 5 F. aus einander. Die Lampen stehen auf zwei eisernen, über einander liegenden Ringen, auf jedem Ringe acht; die

obern haben zwei, die untern drei Dochte, so dafs im Ganzen 40 Dochte brennen können, wenn das Wetter trübe ist. Drei horizontale Öffnungen durch die Mauer, auf welcher die Laterne steht, und zwei verticale Röhren durch das Kupferdach hindurch erhalten den Luftzug, befördern das Brennen der Dochte und vermindern die Hitze in der Kuppel. Die Form der glattpolirten Bleche ist so, dafs sie die Strahlen des Lichts gerade vorwärts werfen. Durch eine gezahnte Stange geschieht die verticale Bewegnng der Ringe. Später brachte man parabolische Reflectoren an.

Der *Leuchtthurm bei Memel,* 500 Schritt vom Strande, auf einem 35 F. hohen Hügel und bis zu seiner Spitze 75 F. hoch, ist vom Baudirector *Lilienthal* 1796 erbaut. Da dort ein Steinkohlenfeuer kostbar war, so dachte man auf eine andere Beleuchtung. Es wurden mit verschiedenen Arten von Hohlspiegeln viele Versuche angestellt, und man fand endlich, dafs ein Spiegel von der Gestalt eines abgekürzten Kegels, dessen abgekürzter Theil mit einem concaven Spiegel von grofsem Durchmesser geschlossen war, am besten wirke. Der obere Theil der eisernen Laterne hat inwendig 10 F. im Durchmesser, steht 6 F. ganz frei, ist unterwärts 4 F. hoch noch mit einer dünnen Wand von Mauerwerk eingeschlossen und hat hinterwärts eine massive gemauerte Rückwand, die das Segment eines Kreisstücks ist, dessen Sehne 5 F. beträgt. Das Gespärre des Thurms besteht aus eisernen Stäben, die mit Kupfer bedeckt sind; der kupferne Schornstein wird an der Wind- und Wetterseite mittels eines beweglichen Cylinders geschlossen. Ein starker, in der Mitte der Kuppel angebrachter Ring nimmt ein Seil mit Flaschenzug auf, mittels dessen man Das was zur Versorgung der Laterne gehört, heraufzieht.

Der *Leuchtthurm auf dem Bell-Rock* (Taf. II. Fig. 3), an der Ostseite von Schottland, in der Mündung der Flüsse *Tay* und *Forth,* wurde von *Robert Stevenson* erbaut. Die Äbte von *Aberbrothwick* sollen ein Flofs mit einer Glocke auf dem Felsen befestigt haben: durch die Wellen in Bewegung gesetzt, ertönte die Glocke und warnte die Seeleute vor den Klippen; von dieser Glocke (Bell) soll der Felsen seinen Namen haben. Der höchste Theil der Klippe zeigt sich kaum während der Ebbe über dem Meeresspiegel; bei der niedrigsten Ebbe sieht man nur eine Fläche von 400 F. lang und 220 F. breit; die Fluth bedeckt den Felsen 12 bis 16 F. hoch. Um den Thurm zu bauen legte man in der Nähe des *Bell-Rock* ein Fahrzeug vor Anker, welches sowohl zum vorläufigen Leuchtschiffe diente, als auch um die Arbeiter, die nur kurze Zeit auf dem Felsen arbeiten konnten, aufzunehmen. Um den

Bau mehr zu fördern und bei plötzlich stürmischem Wetter Schutz zu haben, baute man eine Baracke aus 6 Stämmen von 47 F. lang und 13 Z. im Gevierte, die oben so verbunden wurden, dafs sie eine sechsseitige Pyramide bildeten, deren oberer Theil ein kleines hölzernes Thürmchen trug. Das Ganze war etwa 60 F. hoch. Da der untere Theil offen und die Verbindung sehr dauerhaft war, so erhielt sich die Baracke während des ganzen Baues. Unter dem kleinen Thurme war noch ein Boden, um Vorräthe und Materialien, welche nicht auf dem Felsen bleiben konnten, zu bergen. Derselbe war so leicht zusammengesetzt, dafs er aufserordentlichen Wogen *nachgab,* damit der Haupttheil der Construction nicht beschädigt werde; auch wurde der Boden wiederholt von den Wogen weggespült. Der Thurm wurde in drei über einander liegende Räume getheilt. Der untere, durch die Gerüstbalken sehr verkleinert, diente als Küche und Brodkammer; der mittlere diente dem Ingenieur und Werkführer zum Aufenthalt; der obere, mit einem Ventilator, den Arbeitern. Am 17. August 1807 landete *Robert Stevenson* zuerst auf dem Felsen, und am 10. Juli 1808 wurde, 16 F. tief unter dem Hochwasser der Springfluthen, der erste Stein gelegt. Am Ende des zweiten Jahres war das Gebäude bis zu 5 F. 6 Z. hoch über den niedrigsten Theil der Fundamentirung gediehen. Im dritten Jahre vollendete man den massiven Theil des Gebäudes bis auf 30 F. hoch; im October 1810 wurde das Mauerwerk vollendet und das Licht am 1. Febr. 1811 angezündet. Der *Bell-Rock*-Leuchtthurm ist 100 F. hoch und hat unten 42 F., oben 15 F. im Durchmesser; die Thür liegt 30 F. hoch über der Basis und ist mit dem Felsen durch eine massive kupferne Leiter verbunden. Der Thurm enthält, mit Einschlufs des Leuchtraums, sechs Zimmer. Das Licht ist ein Drehfeuer, welches sich roth und weifs zeigt und durch Umdrehung eines Rahmens, der 16 Argandsche Lampen mit parabolischen Reflectoren trägt, hervorgebracht wird. Die Maschinerie zur Umdrehung des Rahmens dient auch, bei nebligem Wetter zwei grofse Glocken zu läuten um den Seeleuten die Nähe des Felsens anzuzeigen.

Der *Leuchtthurm von Four* (in der *Vendée)* ist auf einer Klippe erbaut, die sich beim niedrigen Wasser über eine Stunde weit ausdehnt, während die Springfluthen die höchsten Theile derselben fast 7 F. hoch bedecken. Man kann nur bei ruhigem Wetter landen. Der Bau wurde im 1. März 1820 begonnen, indem man ein Fahrzeug von 80 Tonnen in die Nähe des Felsens legte. Bis zum 25. Septbr. wurde gearbeitet. Im folgenden Jahre begann man am 12. Mai die Arbeiten und vollendete das Bauwerk am

26. Septbr. Im Durchschnitt konnte man nur 5 Stunden 20 Minuten täglich arbeiten. Eine etwa 22 F. lange Leiter führt vom Felsen in den Thurm, welchen (Taf. II. Fig. 4) darstellt. Der Durchschnitt ist gegen die Ansicht um 90 Grad gewendet, um die obere Öffnung, welche wahrscheinlich zur Aufnahme von Materialien dienen soll, zu zeigen. Die Mitte der Laterne liegt 66 F. hoch über der Grundfläche des Thurms.

Der *Leuchtthurm von Barfleur* (Taf. II. Fig. 5) ist eines der höchsten Bauwerke dieser Art. Er ist aus röthlichen Granitwerkstücken gebaut und hat in der Grundfläche 28,6 F. im Durchmesser. Die Länge des Säulenschafts beträgt 176 F.; der obere Durchmesser ist 19,1 F. Unten ist die Mauer 7,95 F., oben 3,18 F. dick.

Ein kleiner gufseiserner Leuchtthurm befindet sich, nach *Reibell*, auf einem Quai zu *Glasgow*. Derselbe ist auf einer 1,6 F. hohen 11,4 F. im Durchmesser haltenden Plateform erbaut und besteht aus einer Kammer von 9,5 F. im Durchmesser, welche aus einem Stücke gegossen ist und durch 3 Fenster erleuchtet wird. Darüber erhebt sich eine aus zwei Stücken gegossene Säule von 3,82 F. unterem und 3 F. oberem Durchmesser und 11,23 F. Höhe. Auf der Säule ist die Laterne angebracht, welche das Feuer enthält und zu welcher man auf einer kleinen hölzernen Wendeltreppe gelangt. Der ganze Thurm kostete etwa 980 Thlr.

Leuchtthurm auf dem Cap Hogue (Taf. II. Fig. 6). Der von der Küste 2500 F. weit entfernte Felsen, auf welchem dieser Leuchtthurm erbaut ist, liegt in einer Gegend, welche den Schiffern durch die heftigen Strömungen und die Veränderung der Richtung derselben an den verschiedenen Stunden der Ebbe und Fluth bekannt ist. Die benachbarte Küste hatte nur einen einzigen geschützten Punct zum Einschiffen von Menschen und Baustoffen; die Passage wurde schon durch mäfsigen Wind aus Süd – Ost und Süd unterbrochen und die Fahrt vom Felsen zum Ufer war nur in der dritten Stunde der Ebbe leichter möglich. Diese Umstände veranlafsten *Morice La Rue*, welcher den Bau des Thurmes leitete, eine Baracke auf dem Felsen zu bauen, welche pyramidal und 32 F. hoch war und ihren untern Boden in 6 F. Höhe hatte. Zu mehrerer Sicherheit errichtete man in der Nähe einen starken, den Felsen etwa um 44 F. überragenden Mastbaum, dessen Mastkorb 22 F. hoch über dem Felsen lag. Ein leichtes Dach von Linnen überspannte denselben. Am Landungsplatz wurde aufserdem noch eine kleine Hütte zur Aufbewahrung des Mörtels u. s. w. gebaut. Der Strömungen wegen führte man

die Werkstücke auf zwölfrudrigen flachen Fahrzeugen von 14 bis 15 Tonnen Tragkraft herbei, welche so eingerichtet waren, dafs die Steine auf einer schiefen Ebene nach dem vordern Theil hingebracht werden konnten. Sie wurden dann durch einen Krahn in die Höhe gehoben und auf kleine Wagen gesetzt, welche in das Innere des Thurms gezogen wurden. Das Seil zum Heben der Werkstücke lief über eine Rolle, welche an dem obern, mit dem Bau selbst sich erhebenden Gerüste befestigt war, dann abwärts unter eine feste Rolle im untern Stockwerk lief und nun über der Plateform auf eine Winde sich wickelte, welche vermittels einer Übersetzung von einem Pferdegöpel getrieben wurde. Der Bau des Thurms begann im Jahre 1834 und wurde 1837 beendigt. Die Brustwehr der Plateform ist einige Zeit nach der Vollendung, ihrer Gröfse ungeachtet, von den Wellen beschädigt worden, und man beabsichtigte, sie durch eine stark durchbrochene metallische Brustwehr zu ersetzen. Zu dem Bau waren 11 000 Werkstücke, auf 118 Lagen vertheilt, nöthig, welche 7 400 000 Kilogr. wogen und die in einem Zeitraume von vier Jahren auf eine mittlere Höhe von 110 F. gehoben wurden.

Der Leuchtthurm von Brehat (S. Revue de deux mondes, 1844.) ist auf Felsen gebaut, welche etwa 1600 F. von der Küste entfernt sind und von den Springfluthen 16 F. hoch bedeckt werden. Der 57 F. im Durchmesser haltende Unterbau hat die Form eines abgekürzten Kegels, trägt oben eine Galerie und den von einer gekrümmten Aufsenlinie begränzten Thurm. Das Gebäude ist aus weifslichem Granit aufgeführt; die Werkstücke sind durch Schwalbenschwänze mit einander verbunden, und im untern Drittel werden aufserdem noch die übereinanderliegenden Steine durch oben und unten eingreifende Würfel zusammengehalten; die Bearbeitung der Steine geschahe so genau, dafs kaum Mörtel nöthig war. Auf der Plateform, welche den Thurm 143 F. hoch über den Springfluthen bekrönt, erhebt sich ein kleines Kuppelgewölbe, von Pfeilern getragen, die das Rahmenwerk für die Glasscheiben halten. Der Thurm wurde 1839 vollendet und hat den heftigen Stürmen und Wogen widerstanden; wenn er gleich, wie die Wächter berichten, bei heftigem Winde und Wellenschlage so stark schwankt, dafs die Oberfläche des Öls in den Lampen um einen Zoll sich hebt und senkt. Eine kupferne Leiter führt zum Eingange, der durch schwere Thore aus Bronce geschlossen ist; die Riegel werden mittels Kurbel und Getriebe verschoben. Die untere Etage enthält das Holzmagazin, die Schreinerei u. s. w.; in dem folgenden Stockwerke sind Gefäfse von Zink zu dem Öl für die Lampen und zum Trink-

wasser der Wächter; dann folgt die Küche und die Speisekammer, und über diesen Räumen sind drei Zimmer für die Wächter. In der siebenten Etage befindet sich ein kleiner, reich ausgeschmückter Salon für den Aufsichts-Beamten; in der achten Etage, welche Ölgefäfse, Gläser, Lampen zum Auswechseln u. s. w., so wie Thermometer, Barometer und Chronometer enthält, endigt die steinerne Wendeltreppe und man steigt, um in das Wachtzimmer zu gelangen, eine gufseiserne Leiter hinauf. Dieser Raum ist fast ganz mit marmornen Tafeln belegt, weil für einen Theil der Maschinerie, die durch eine runde Öffnung in der Decke dieses Zimmers hinabreicht, die gröfste Reinlichkeit nöthig ist, welche nur mit Hülfe der polirten Oberfläche sich erreichen läfst. Über diesem Raume ist die eigentliche Laterne, mit einem festen Feuer erster Classe.

Den Leuchtthurm auf der Landspitze *Andramurchan*, in der Grafschaft *Argyle*, sieht man (Taf. II. Fig. 2) abgebildet. Derselbe trat am 1. December 1849 in Wirksamkeit. Die Laterne befindet sich 180 F. hoch über der Meeresfläche. Die Wohnung des Hauptwächters besteht aus sechs Räumen (*e, f, k, i, g, i*) deren zwei, *f* und *e*, für den Aufsichts-Beamten bestimmt sind. Der zweite Wächter hat vier Räumlichkeiten (*g, h, i, k*), von denen er das Zimmer *h* zeitweilig den Arbeitern überlassen mufs, welche die jährlichen Ausbesserungen ausführen. *a* ist ein Vorrathsraum für Leucht-Apparate u. s. w., *c* ein Raum für das Brennmaterial des Hauptwächters, *b* derselbe Raum für den zweiten Wächter, *d* ein offener Hof; *k* sind die Küchen, *i*, *i* Kammern.

Die Zahl der Leuchtthürme hat in den letzten Jahren sehr zugenommen. Es würde aber nicht von wesentlichem Nutzen sein, sämmtliche Bauwerke dieser Art zu beschreiben. In der am Schlusse der Abhandlung beigefügten Tafel sind die bedeutenderen und neueren Leuchtthürme angegeben; am vollständigsten sind die Schottischen und Französischen Leuchtthürme vertreten. Nach dem „Mech. Magazine" betrug die Zahl der Leuchtthürme in Grofsbritannien im Jahre 1845, 121; anfserdem waren 29 schwimmende Feuer und 129 Localfeuer vorhanden. Die Zahl der Flammen betrug in England 1152, in Irland 492, in Schottland 799. Die Brutto-Einnahme der öffentlichen Feuer Grofsbritanniens betrug im Jahre 1843, 2 379 567 Thlr.; die Brutto-Einnahme in Schottland allein betrug im Jahre 1846, 306 670 Thlr.; für die Erhebung wurden 15 342 Thlr. verausgabt; zurückgezahlt wurden 1459 Thlr., so dafs eine Einnahme von 289 869 Thlr. blieb.

Aufser den 31 Leuchtthürmen in Schottland finden sich im *Frith of Forth* District 17 Bojen und 5 feste Wahrzeichen; in den Districten *Frith of Moray, Cromarty, Inverness* und *Dornoch* 18 Bojen, von welchen zwei zwölffüfsige Mastbojen sind. Unter den 3 festen Wahrzeichen ist der *Covesea Skerries beacon* zu bemerken. Es ist eine Pyramide aus eisernen Pfeilern, oben mit einem durchbrochenen cylindrischen Gitter und einem Kreuze, bis 50 F. über das Hochwasser sich erhebend. Im District *Frith of Clyde* sind 8 Bojen und 6 feste Wahrzeichen, von welchen 5 aus Eisen sind. Im District *Loch Fyne* finden sich 2 Bojen und 2 feste eiserne Wahrzeichen; im District *Linnhe Loch* 10 Bojen, von welchen 8 als sechsfüfsig und eine als zehnfüfsige Mastboje mit rother Kugel angegeben ist. In Irland sollen 36 Leuchtthürme sein.

Nach dem „Moniteur industriel" von 1849 befinden sich in Frankreich 57 Leuchtthürme, von welchen 17 am Canal, 25 von da bis zur spanischen Grenze, 15 im Mittelländischen Meere, Corsica eingeschlossen, stehen. Aufserdem sind an wichtigen Küstenpuncten nach 104 kleinere Leuchtfeuer.

Beleuchtung der Leuchtthürme.

Zur Beleuchtung der Leuchtthürme diente in älterer Zeit fast ausschliefslich *Holz*. Noch im Jahre 1770 wurden die Leuchtthürme von *Corduan*, auf der Insel *Ré* und auf der Insel *May*, so beleuchtet. Späterhin kam die Steinkohlenfeurung mehr und mehr in Aufnahme und es scheint, als ob man sich dieser Beleuchtungsart, besonders in den Nordischen Gewässern bediente. Häufig hatte man dem Feuer keinen Schutz gegeben, so dafs es dem Regen und Winde ausgesetzt war. Schon *Löwenörn* machte in einem Briefe an *Wiebeking* (Wasserbaukunst Bd. II. S. 226) auf die Unzulänglichkeit solcher Einrichtungen aufmerksam, da das Feuer, vom Winde seitwärts getrieben, selbst horizontal sich neigen kann und dann nach verschiedenen Seiten hin ganz verschiedene Ansichten darbietet; desgleichen wird, weil die Richtung des Windes gegen den Horizont nicht immer gleich ist, die Flamme bald niedergedrückt, bald gehoben. Durch Laternen geschützte Kohlenfeuer sollen nach *Löwenörn* in Nordischen Climaten vor Lampenfeuern den Vorzug haben, dafs sich das Glas nicht mit einer Eisdecke belegen kann; doch möchte dieser Vortheil auch wohl leicht auf andere Weise zu erreichen sein. Der im August 1759 vollendete Leuchtthurm auf dem *Edystone* wurde mit Talgkerzen beleuchtet,

welche man erst 1807 mit Argandschen Lampen vertauschte. Auf dem Leuchtthurm von *Cordouan* setzte *Lenoir* im Jahre 1780 Lampen mit parabolischen Reflectoren, und die 1783 von *Argand* aus Genf erfundenen Lampen mit hohlen Dochten wurden für Leuchtthürme zuerst von *Borda* benutzt.

Bevor wir auf die weitere Vervollkommnung der Einrichtung der Lampen näher eingehen, wird es nicht unpassend sein, Einiges über die Wahl des *Brennstoffs* überhaupt zu sagen. Es sind nur die *Fett-Arten* und das *Gas*, so wie einige andere, gröfstentheils blofs erst vorgeschlagene Arten der Beleuchtung zu berücksichtigen, da die directe Anwendung der Steinkohle und des Holzes wohl kaum mehr vorkommen wird. Die Fett-Arten haben fast gleiche chemische Zusammensetzung, entwickeln daher beim Verbrennen eine gleiche Menge Wärme und würden auch, insofern sie vollkommen verbrennen, als Leuchtstoff dieselbe Lichtmenge geben, wenn sonst die äufsern Umstände dieselben sind. Diese, und besonders die Zuführung der Luft und des Brennstoffs, sind aber sehr verschieden, und besonders ist zwischen dem Verbrennen der Kerzen und dem des Öls in vervollkommneten Lampen ein grofser Unterschied. Der Vorschlag, *Gas* zur Beleuchtung zu benutzen, scheint keinen bedeutenden Erfolg gehabt zu haben. Nur *Syanzin* gedenkt des Leuchtthurms von *Salvora* auf der *Istrischen* Küste, dessen Laterne, von 14,5 F. Durchmesser und 11,48 F. hoch, von 42 Brennern erleuchtet wird. Für den dioptrischen Apparat, bei welchem es hauptsächlich darauf ankommt, eine grofse Flamme herzustellen, würde das Gas verschiedene Vorzüge haben, da die Flamme weniger veränderlich und leichter zu reguliren sein würde, auch das Uhrwerk der Lampe gänzlich wegfallen könnte; doch ist die Benutzung des Gases immer deshalb bedenklich, weil der Transport einer gröfseren Menge von Steinkohlen nach den oft sehr entlegenen Leuchtthürmen schwierig ist, die Destillation nur mit grofser Vorsicht den gewöhnlichen Wärtern anvertraut werden kann, der Transport des Gases selbst aber in den meisten Fällen ebenfalls Schwierigkeiten haben würde. Aufserdem ist noch immer einige, wenn auch nur geringe Gefahr von Explosionen vorhanden; für etwaige Unfälle müfste also ein gewöhnlicher Beleuchtungs-Apparat bereit sein, um sofort die Stelle der Brenner einzunehmen. Zu Drehfeuern kann das Gaslicht ebenfalls nicht benutzt werden. Zu Leuchtthürmen auf dem Festlande, in der Nähe gröfserer Städte, so dafs eine beständige Verbindung und Beaufsichtigung möglich ist, kann in manchen Fällen das Gas mit Vortheil passend sein: ob es wohlfeiler sei, kommt auf die örtlichen Verhältnisse an.

Die folgende Tafel von *Redtenbacher* giebt, in ihren Resultaten, durch die Zahlen der einen wagerechten Spalte die Brennstoffmengen an, welche die gleiche Lichtmenge entwickeln. Von den Talgkerzen dienten 6 und von den Wachskerzen 5 auf das Pfund zu den Versuchen; die Lampe mit flachem Docht verbrannte in der Stunde 13 Grammen Öl, die Argandsche Lampe 30 Grammen, die Sinumbra-Lampe 50 Grammen und die Carcel-Lampe 40 Grammen.

Kerzenbeleuchtung.		Öllampenbeleuchtung.			Steinkohlengas.	
Talg. Kilogr	Wachs. Kilogr.	Carcel.	Sinumbra.	Platte Dochte.	Gas in Litres.	Steinkohlen in Kilogr.
1,00	0,92	0,59	0,71	1,26	1530	7,30
1,09	1,00	0,65	0,78	1,37	1670	7,94
1,67	1,54	1,00	1,19	2,11	2570	12,20
1,40	1,29	0,84	1,00	1,76	2140	10,00
0,80	0,73	0,47	0,57	1,00	1210	5,75
0,65	0,60	0,39	0,47	0,83	1000	4,76
0,14	0,13	0,08	0,10	0,17	210	1,00
1,76	1,61	1,05	1,26	2,23	2700	13,00

Neuerdings hat *Röfsler* in *Darmstadt* (Gewerbeblatt für das Grofsherzogthum Hessen, 1849. Nro. 43. und Polyt. Centralblatt 1850. L. 1.) Versuche angestellt, welche den grofsen Vorzug gut eingerichteter Lampen beweisen. Die zu den Versuchen dienende Gasflamme entströmte einem Fledermausbrenner und verzehrte in 2 Stunden 7 Minuten 3,66 Cubikfufs Gas, also in der Stunde 1,728 Cubikfufs, welche $2\frac{3}{5}$ Pfennige kosteten. Wachskerzen nahm man 4 auf das Pfund; sie verbrannten in $9\frac{1}{2}$ Stunden und es wurden also in der Stunde 0,7 Loth davon verzehrt; ein Loth Kerze kostete 6,4 Pf. Stearinlichte nahm man 6 auf das Pfund; sie brannten 6 Stunden 45 Minuten, das Loth Kerze kostete 3,91 Pf.; Talglichte nahm man ebenfalls 5 auf das Pfund, das Loth kostete 1,97 Pf. Das Öl wurde in einer guten Argandschen Flaschenlampe verbrannt und es war in jeder Stunde 1,69 Loth Öl nöthig; das Loth kostete 1,47 Pf.

Die verhältnifsmäfsige Leuchtkraft war:

Von Wachslichten . . . . = 100,
Von Talglichten . . . . . = 95,
Von Stearinlichten . . . . = 95,
Von Argandschen Lampen = 480,
Von Gaslicht . . . . . = 500.

Es that also eine Gasflamme so viel als 5 Wachskerzen, 5,3 Talglichte und Stearinkerzen und 1,04 Lampenlicht.

Die Menge und die Kosten des in einer Stunde verzehrten Stoffs waren folgende:

	Verbrauch in der Stunde.	Kosten auf die Stunde.
Talglicht	0,60 Loth. . . .	1,2 Pfennig.
Stearinkerze . . .	0,61 – . . .	2,37 – –
Lampe	1,69 – . . .	2,48 – –
Wachskerze . . .	0,70 – . . .	4,48 – –
Gaslicht	1,9 Cubikzoll . .	4,56 – –

Der Kosten-Anfwand für die Stunde zur Erzielung gleicher Lichtmengen war:

1,04	Lampe	2,58 Pfennig.
1	Gaslicht	4,56 – –
5,3	Talglichte	6,34 – –
5,3	Stearinkerzen . . .	12,58 – –
5	Wachskerzen . . .	22,4 – –

In einer Uhrlampe soll ein Pfund Öl, in derselben verbrannt, 1,55 Pfd. Wachskerzen und 1,9 Pfd. Talglichten an Leuchtkraft gleich kommen.

Es sind ferner das Licht von ***Drummond*** und das ***electrische Licht*** zur Beleuchtung vorgeschlagen worden. Das erstere besteht bekanntlich aus einem Cylinder von Kreide von etwa $\frac{3}{8}$ Zoll im Durchmesser, welcher durch die Flamme einer Verbindung von Sauerstoff und Wasserstoff (dem Knallgase) zum Glühen gebracht wird und an Lichtstärke ungefähr 264 gewöhnlichen Argandschen Lampen gleichkommt. Das electrische Licht wird durch das Überströmen eines electrischen Funkens zwischen Kohlenspitzen hergestellt, deren Entfernung sehr genau regulirt werden mufs, da von der Entfernung hauptsächlich die Wirkung abhangt. Aufser der Unsicherheit der Licht-Erzeugung in beiden Fällen haben diese Methoden noch den grofsen Übelstand, dafs sie für dioptrische Apparate nicht passend sind, weil die geringe Ausdehnung des leuchtenden Theils keine Divergenz der Strahlen hervorbringt. Aus demselben Grunde passen sie auch nicht zu festen Leuchtfeuern.

Auf einem ähnlichen Princip, wie das Licht von ***Drummond,*** beruht die ***Frankenstein***sche Lampe. Sie unterscheidet sich von der gewöhnlichen Argandschen nur dadurch, dafs in das Innere der Flamme ein Körper hineingebracht wird, der, glühend geworden, der Flamme eine bedeutend gröfsere Intensität giebt. Dieser sogenannte ***Leuchtbrenner*** besteht aus einem kegelförmig hohlen, lockeren Gewebe, welches, mit einer Mischung von Kalk-Erde

und Magnesia überzogen und von unten in die Flamme hineingebracht wird; das Gewebe verkohlt bald und der Kegel wird intensiv weifsglühend. Da die Divergenz der Strahlen bei der unveränderten Gröfse der Flamme dieselbe bleibt, so möchte diese Anordnung, wenn sie übrigens den Lobpreisungen in öffentlichen Blättern entspricht, in manchen Fällen wohl mit gutem Erfolge zu benutzen sein.

Gurney schlug 1835 die Zuleitung eines Stroms von Sauerstoff auf die Ölflamme vor, um eine vollkommnere Verbrennung und dadurch ein stärkeres Licht zu erzielen. Es wurden auch in England Versuche damit angestellt; sie fielen aber nicht befriedigend aus.

(Die zu dieser Abhandlung gehörigen Figurentafeln werden bei der Fortsetzung der Abhandlung im nächsten Heft nachgeliefert.)

5.

Über Leuchtthürme.

(Nach englischen, französischen und deutschen Quellen bearbeitet vom Herrn Ingenieur *A. Hefs* zu Göttingen.)

(Fortsetzung der Abhandlung No. 4. im vorigen Hefte.)

Um die Einrichtung der verschiedenen Arten von *Lampen* beurtheilen zu können, ist es nöthig, die Umstände näher ins Auge zu fassen, welche auf die Wirksamkeit derselben Einflufs haben. Bei allen Lampen mit hohlen Dochten mufs der Durchmesser des Dochts um so gröfser sein, je stärker die Licht-Intensität sein soll; was den Übelstand hat, dafs der Flamme eine gröfsere Luftmenge zugeführt wird, welche, da nur die mit der Flamme in Berührung kommende Luft zur Verbrennung beiträgt, nutzlos erhitzt wird, mithin der Flamme Wärme entzieht, die zur vollständigen Verbrennung hätte benutzt werden können. *Peclet's* Versuche zeigen deutlich, dafs kleinere Brenner verhältnifsmäfsig eine gröfsere *Lichtmenge* (das Product aus der Lichtstärke in die Dauer der Flamme) geben; denn Brenner von 7,3, 5,4, 4,1 und 3 Linien im Durchmesser gaben, auf gleiche Gewichtmengen Öl, Lichtmengen, die sich wie 215, 248, 235 und 260 verhielten. Doch darf man auch hier nicht bis zum Extrem gehen, indem sehr kleine Brenner zu wenig Luft zuführen und dann die Verbrennung unvollkommen ist. Die Zuführung der Luft mufs so geschehen, dafs wenig mehr zugeführt wird, als zum vollständigen Verbrennen des Öls nöthig ist. Je enger und höher das Zugglas: desto rascher ist der Luftzug; doch wird der grofsen Verengung, welche die Luft stark nach der Flamme hindrängt und derselben dadurch eine weifse Farbe giebt, dadurch eine Grenze gesetzt, dafs die Gläser durch zu grofse Erhitzung leicht springen. Auch die Höhe des Glases hat bestimmte Grenzen, indem über diese hinaus die Flamme zwar noch an Leuchtkraft zu-, aber an Gröfse abnimmt, so dafs die gesammte Leuchtkraft geringer ist. Die Beschaffenheit des Öls und des Dochts hat ferner viel Einflufs auf die Licht-Entwicklung. Unvollkommen raffinirtes Öl setzt an den Docht viel Kohle ab, verstopft dadurch denselben und verringert die Zuführung des Brennstoffs; dicke Dochte führen der Flamme zu viel Öl zu, welches nicht vollkommen

verbrannt werden kann; zu dichte Dochte führen zu wenig Brennstoff zu und werden leicht verstopft. Aufser dem Absatz von Kohle aus wenig gereinigtem Brennstoff findet bei gewöhnlichen Lampen auch noch eine Verkohlung des Dochts, selbst bis auf den Brenner hinab Statt; die Flamme geht bis auf denselben hinunter und giebt dadurch dem Metall einen bedeutenden Theil Wärme ab; was natürlich die Verbrennung schwächt. Die Uhrlampen, welche einen beständigen Überflufs von Öl aus dem Brenner erhalten, haben den Vortheil, dafs das Öl, als schlechter Wärmeleiter, der Flamme nicht so viel Wärme entzieht; dagegen erreicht auch die Licht-Entwicklung nicht eher das Maximum ihrer Stärke, bis der sämmtliche Ölvorrath, der durch die Röhren getrieben wird, eine ziemlich gleichmäfsige Temperatur angenommen hat. Viel kommt auf die Höhe des brennenden Docht-Endes an. Je höher der Docht hinausgeschoben wird, während zugleich der Bauch des Zugglases angemessen gestellt ist: desto mehr Licht entwickelt die Flamme; und zwar nimmt die Leuchtkraft in gröfserem Maafse zu, als der Verbrauch des Öls. *Peclet* fand durch Versuche folgende verhältnifsmäfsige Lichtmengen, welche bei jeder Lampe auf das gleiche Ölgewicht bezogen sind.

Sinumbra-Lampe:	Höchste Flamme	Lichtmenge	246.
	Mittlere Flamme	- -	227.
	Niedrigste Flamme . . .	- -	112.
Hydrostatische Lampe:	Höchste Flamme	- -	313.
	Mittlere Flamme	- -	234.
	Niedrigste Flamme . . .	- -	80.

Diese Ergebnisse lassen sich leicht dadurch erklären, dafs bei einer kleinen, wenig Sauerstoff bedürfenden Flamme ein viel gröfserer Theil der aufsteigenden Luft nutzlos erhitzt wird, während bei einer gröfseren Flamme die Theile sich gegenseitig erhitzen. Eine bedeutende Erhöhung des Docht-Endes über den Brenner wird aber dadurch schädlich, dafs eine hohe Flamme leicht flackert und dafs der in grofser Ausdehnung brennende Docht bald verkohlt wird und so die Leuchtkraft schnell abnimmt. Die vortheilhafteste Höhe des Dochts mufs sich in jedem einzelnen Falle aus der Erfahrung ergeben.

Bei längerer Dauer des Brennens zeigt sich bei den meisten Lampen eine *Veränderung* der Lichtstärke; und zwar eine *Vermehrung* bei Lampen, deren Dochte nur etwas über dem Brenner in Flammen stehen. Die Ursach davon liegt darin, dafs der verkohlte Theil des Dochts, in welchem die Zersetzung des Öls vorsichgeht, nach und nach sich vergröfsert, bis die Ver-

kohlung so weit gediehen ist, dafs das Öl nicht mehr ganz in dem Dochte hinaufgesogen werden kann; dann mufs die Leuchtkraft abnehmen. Von Lampen, deren Dochte bis auf den Brenner hinab in Flammen stehen, *vermindert* sich von Anfang an die Leuchtkraft. Die Erhitzung des Brenners und des Zugglases sind hauptsächlich im Anfange des Brennens nachtheilig; ein *weiter* Dochtring, welcher die Verkohlung des Dochts bis in den Ring hinein und wohl gar bis zur Oberfläche des Öls gestattet, ist sehr schädlich; dagegen auch wieder ein *zu enger* Dochtring das Aufsteigen des Öls hindert. Am besten läfst man den Dochtraum von unten nach oben sich verengen. *Fortmann* in *Oldenburg* (S. *Dingler's* Journal B. 100.) löthet, um das Überziehen des Öls zu verhindern, einen nach Innen zugespitzten Ring in den Brenner, und zwar an den äufseren Theil; der innere Theil wird aus starkem Messing gemacht und $\frac{1}{8}$ Z. tief bis zur gewöhnlichen Stärke abgedreht. (S. Taf. III. Fig. 4.) Eine Erniedrigung des Öl-Niveaus ist ebenfalls der gleichmäfsigen Zuführung des Brennstoffs und folglich der gleichmäfsigen Leuchtkraft hinderlich.

Früher hatte man volle cylindrische Dochte; die Luft konnte nur von Aufsen hinzutreten, um die Verbrennung zu befördern, und es entstand daher Rauch. Man suchte nun den Dochten eine geringere Dicke zu geben, bis *Argand*, wie schon oben gesagt, die Lampen mit doppeltem Luftzuge erfand. Die geringe Dicke der Dochte und die hohe cylindrische Form derselben verschafften der Luft einen leichten Zugang zur Flamme. Aufserdem fügte *Argand* seinen Lampen Zuggläser hinzu, um die Flamme gegen zufällige Luftbewegungen zu schützen und das Verhältnifs zwischen der Geschwindigkeit der Luft und der des Gasstromes zu reguliren. Der Argandsche Brenner besteht aus zwei concentrischen Röhren, welche durch einen geringen, den Docht enthaltenden Zwischenraum getrennt sind. Unten ist dieser Zwischenraum durch einen Boden geschlossen; das Öl wird seitwärts durch eine Röhre her zugeführt.

Bei der Benutzung der Argandschen Lampen für Leuchtthürme ist eine eigenthümliche Verbindung derselben mit den weiter unten näher zu beschreibenden Reflectoren nöthig. Eine solche Einrichtung, wie sie auf den Schottischen Leuchtthürmen ausgeführt ist, sieht man (Taf. III. Fig. 1). Die Brenner haben eine Vorrichtung, mittels welcher sie, um sie zu reinigen, aus dem Reflector herausgezogen werden können und welche zugleich von der Art ist, dafs der Brenner immer genau wieder an die gehörige Stelle zurückgeschoben werden kann. *a* ist der Reflector, *b* der Brenner, *c* eine 24 Unzen Öl haltende Flasche; diese beiden letzteren sind mit dem aus zwei

senkrechten und zwei wagerechten Stäben bestehenden Rahmen verbunden, dessen oberes Querstück über einen senkrechten Stab *f* und dessen senkrechte Theile in zwei Führungen *e* gleiten, mittels welcher Anordnung der Brenner hinabgelassen und gehoben, so wie auch durch das Stück *g* festgestellt werden kann. Der Reflector hat eine elliptische Öffnung von 3 Z. lang und 2 Z. breit zum Einschieben des Brenners, und eine eben solche Öffnung zur Abführung der heifsen Gase; letztere noch mit einem kupfernen Rohr. Unter dem Brenner ist eine kleine Lampe, welche das übertropfende Öl aufnimmt und bei kaltem Wetter zugleich als Frostlampe dient, indem sie, eine Stunde vor Sonnen-Untergang angezündet, das im Brenner enthaltene Öl leichtflüssig macht.

Zum Heben des Dochts kann eine gezahnte Stange mit Getriebe dienen; doch ist folgende Vorrichtung besser, die zuerst von ***Parker*** bei der Sinumbra-Lampe angebracht wurde (einer Kranzlampe mit plattem, gegen die Flamme sich verjüngendem Kranze, welche nur geringen Schatten giebt; weshalb sie ***Sine umbra*** genannt wurde). (S. ***Karmarsch;*** in ***Prechtls*** technologischer Encyklopädie Bd. IX. S. 179.)

(Taf. III. Fig. 2) zeigt den Durchschnitt des Brenners. Man sieht in demselben die beiden festen hohlen messingnen Cylinder *g* und *k*. Der unten geschlossene Zwischenraum wird durch das Rohr *c* mit Öl versorgt. Zwischen beide Cylinder wird ein dünnes Blech von Messing *l* eingesetzt, welches fast der ganzen Länge nach zwei einander gegenüberstehende Spalten *z* hat. Die kleine Warze *m* am obern Theile des Blechs ist von innen nach aufsen getrieben. Zwischen diese dünne messingne Röhre und das innere dicke Rohr, welches eine schraubenförmige Furche hat, bringt man den Dochtring *p*, an welchen, wie gewöhnlich, drei Federn *q* festgelöthet sind; der untere, etwas dickere Rand hat einen kleinen Zapfen *n*, welcher nach aufsen, und eine Erhöhung *o*, welche nach innen geht. Beim Hineinschieben des Dochtringes in das Rohr legt sich der äufsere Zapfen *n* in die eine der Spalten *z*. Um aber das mittlere Rohr und den Dochtring zwischen *k* und *g* hinabzubringen, mufs man das Rohr *l* um seine Axe drehen; der in den Schraubengang versenkte Vorsprung *o* leitet dann sowohl Rohr als Dochtring mit schraubenförmiger Bewegung abwärts. Wird das Rohr *l* entgegengesetzt umgedreht und zugleich durch einen schwachen Druck am Aufsteigen gehindert, so mufs der Zapfen *n* ebenfalls eine Drehung machen, indem zugleich der Dochtring, durch den Vorsprung geleitet, eine schraubenförmige Bewegung aufwärts bekommt. Um dem Rohre *l* bequem diese Bewegung mitzutheilen, hat man dem Glas-

träger eine besondere Einrichtung gegeben. Derselbe besteht aus einer messingnen Scheibe, welche mit Spielraum über das äufsere Rohr *g* geschoben werden kann; im Boden befinden sich drei bogenförmige Durchbrüche, um dem äufsern Theile der Flamme Luft zuzuführen; drei senkrecht eingenietete Drähte tragen oben einen Reif, welcher mit der einen Hälfte auf dem oberen Rande von *g* ruht; der innere Theil hat zwei diametrale Einschnitte, welche die Warzen *m* des Rohrs *l* fassen. Man sieht leicht, dafs vermöge dieser Anordnung das Rohr *l* sich drehen und so der Dochtring sich heben oder senken mufs, wenn der Glashalter gedreht wird.

Ganz ähnlich ist auch die Einrichtung der Brenner auf den Schottischen Leuchtthürmen; nur hat man in das innere Rohr *k* noch ein dünnes Rohr von Messing eingefugt, welches genau in jenes pafst; so dafs keine Bewegung zwischen beiden Statt finden kann.

Um in dem Brenner das Öl auf gleicher Höhe zu erhalten, dient bei den hier in Rede stehenden gewöhnlichen Lampen meistens eine Flasche. Diese Anordnung beruht auf den Gesetzen des Luftdrucks. Ein oben geschlossenes Gefäfs wird mit Öl gefüllt und mit dem untern, offenen Theile unter die Oberfläche des in einem die Flasche umschliefsenden Gefäfse befindlichen Öls getaucht. Da die Luft nicht von aufsen über die in der Flasche befindliche Flüssigkeit gelangt, so kann sie auch nicht eher ausfliefsen, bis die sinkende Oberfläche des äufsern Öls den untern Rand der Flasche erreicht hat; dann kann so lange Luft einströmen, bis der Rand wieder von der Flüssigkeit bedeckt wird. Das Einströmen der Luft und das damit verbundene Steigen der Flüssigkeit im äufsern Gefäfse geschieht periodisch, weil die Oberfläche des Öls schon etwas unter dem untern Rand der Flasche steht, ehe noch die von den Gefäfswänden angezogene Flüssigkeit am Rande zerreifst und einer Luftblase den Eintritt gestattet. Dieser Niveau-Unterschied ist im Brenner wohl zu bemerken und beträgt etwa $\frac{1}{2}$ Linie. Man nennt deshalb solche Lampen auch wohl Lampen mit *intermittirendem* Niveau. Es ist klar, dafs sich durch Veränderungen der Atmosphäre, welche den Luftdruck vermindern oder vermehren, das Niveau im Brenner verändert. Die Erwärmung der in der Flasche befindlichen Luft hat das Überfliefsen des Öls zur Folge. Diesem Übelstande läfst sich dadurch abhelfen, dafs man die Flasche vor dem Anzünden ganz füllt, damit sie sich erwärme, ehe noch eine beträchtliche Menge Luft hineintritt. Aufserdem wirken auch die gröfsern oder geringern Capillarkräfte des Dochts und die gröfsere oder geringere Flüssigkeit des Öls auf

das Niveau. ***Alan Stevenson*** fand, dafs wenn Rüböl $\frac{1}{4}$ Z. unter der obern Fläche des leeren Brenners stand, das Niveau meistens die richtige Höhe hatte: im Sommer flofs freilich nicht selten das Öl über.

Um die Flaschen umkehren zu können, ohne Öl zu verschütten, bringt man vorn an der Öffnung ein nach innen sich öffnendes Ventil an, dessen Stäbchen sich in der Bahn eines innerhalb mit seinen beiden Enden angelötheten blechernen Steges bewegt, wodurch das Hineinfallen des Ventils verhindert und die grade Führung desselben erleichtert wird. Beim Einsetzen der Flasche in die Büchse stöfst das nach unten verlängerte Stäbchen gegen den Boden und öffnet so das Ventil.

Bei den Lampen auf den Schottischen Leuchtthürmen hebt man die Verbindung zwischen Brenner und Flasche dadurch auf, dafs man die Flasche um einen Viertelkreis dreht. Dies geschieht 15 Minuten vor dem Auslöschen der Lampen, um die Brenner vom Öl möglichst frei zu machen. Um das Ausflufsloch der Flasche auf die richtige Höhe einzuschneiden, bedient man sich eines metallnen Lineals, mit einer Röhrenlibelle. Das eine Ende desselben legt man auf die obere Fläche der Büchse, welche die Flasche aufnimmt: an dem andern Ende läfst sich ein Maafsstab verschieben, welcher unten einen schmaleren Ansatz von derjenigen Länge hat, um welche das Öl unter der Brennermündung stehen soll. Mit der breitern Fläche läfst man den Maafsstab auf den Brenner sich setzen, trägt dann das abgelesene Maafs abwärts von der Hülse ab und findet so die obere Kante der Ausflufsöffnung in der Flasche.

Die feste Oberfläche des Öls in den ***hydrostatischen*** Lampen, welche man ebenfalls für Leuchtthürme benutzt hat, richtet sich nach dem bekannten Gesetze der communicirenden Röhren. Zu drückenden Flüssigkeiten hat man Quecksilber, Salzwasser, Salpeter-Mutterlauge und Zinkvitriol-Auflösung genommen. Die letztere hat den Vorzug erhalten, weil die andern Flüssigkeiten die Metalle angreifen. Die gesättigte Auflösung des schwefelsauern Zink-Oxyds enthält in 15 Gr. R. Wärme kaum 1 Theil Wasser auf 1 Theil Salz, setzt erst bei 0 Gr. Krystalle an und hat ein specifisches Gewicht von 1,437. Nach ***Karmarsch*** hat eine Auflösung von 1 Theil schwefelsaurem Zink-Oxyd

	Bei +15 Gr. R. ein specifisches Gewicht	
	Gegen Wasser, von	Gegen Öl, von
In 1 Theil Wasser . . .	1,369 . . .	1,50
- $1\frac{1}{2}$ - - - . . .	1,279 . . .	1,40
- 2 - - - . . .	1,227 . . .	1,34
- $2\frac{1}{2}$ - - - . . .	1,189 . . .	1,30

Die zweckmäfsigste Anordnung dieser Lampen ist die von *Thilorier*. Die Lampe besteht aus einem obern und einem untern Gefäfse, beide durch eine Röhre verbunden; von dem untern Gefäfse geht eine andere Röhre luftdicht durch das obere Gefäfs hindurch und bildet, zu einem ringförmigen Cylinder sich erweiternd, den Brenner. Damit das Öl im Brenner die gleiche Höhe behalte, ist nöthig, dafs auch die drückende Säule dieselbe bleibe. In dem obern Gefäfs erreicht man Dies dadurch, dafs man ein oben und unten offenes Rohr, dessen untere Kante die obere Fläche der drückenden Säule bezeichnet, da die Masse der Flüssigkeit oberhalb von dem Drucke der Atmosphäre getragen wird, luftdicht und vertical von oben hineinbringt. Die untere Fläche der Drucksäule (die Berührungsfläche zwischen der Vitriol-Auflösung und dem Öl) erhebt sich allmälig; doch wird dieser Übelstand durch die Gröfse des untern Gefäfses und durch die Haarröhrchenkraft des oben eng zusammengezogenen Brenners fast ganz aufgehoben. Zugleich ist zu berücksichtigen, dafs auch mit der Verminderung der Drucksäule die Ölsäule, freilich nicht im entsprechenden Maafse, gehoben wird. Zum Einhüllen der Flüssigkeiten dient ein eigenthümlicher Trichter, welcher den Brenner umfafst und zugleich das innere Rohr für den Luftzug verschliefst. Man gielst zuerst die Zinkvitriol-Auflösung ein und füllt dann, nachdem man das in dem obern Gefäfse luftdicht eingefugte Rohr entfernt hat, um die Flüssigkeit bis unter den Boden treiben zu können, das Öl ein; der Trichter ist so hoch, dafs das bis zum Rande eingefüllte Öl die Vitriol-Auflösung bis unter den Boden des obern Gefäfses treibt. Man bringt dann die schon erwähnte, oben und unten offene Röhre luftdicht hinein; wodurch die Drucksäule, welcher von dem im Trichter enthaltenen Öle das Gleichgewicht gehalten wurde, jetzt von der Atmosphäre getragen wird. Man hebt den Trichter etwas und läfst das Öl in eine durch das obere Gefäfs gebildete Tropfschale fliefsen, aus welcher es durch das Gefäfs selbst mittels einer Röhre in einen untern Behälter geleitet wird. Um die Lampe späterhin mit Öl zu versorgen, darf man nur das bezeichnete Rohr entfernen, den Trichter auf den Brenner setzen, füllen, das Rohr wieder einsetzen und das überflüssige Öl ablaufen lassen.

Die vollkommensten Lampen sind die *mechanischen* oder *Uhr-Lampen*, welche *Carcel* in Paris erfand und auf welche er im Jahre 1800 ein Patent erhielt. Die Hebung des Öls geschieht hier mittels eines Pumpenwerks, welches durch eine Uhr in Bewegung gesetzt wird. Dieses Pumpenwerk ist ganz vom Öl des Vorrathsbehälters eingeschlossen und aus einer Mischung von Zinn und

Antimon verfertigt. Unter dem Cylinder, in welchem der doppelt-wirkende Kolben spielt, befinden sich zwei getrennte Räume, die an verschiedenen Enden des Cylinders ausmünden. Dieselben stehen durch Ventile, welche sich nach innen öffnen, mit dem Vorrathsbehälter in Verbindung; doch sind die Öffnungen mit einem Drahtsiebe bekleidet, um die Verunreinigung der innern Kammer zu verhindern. Der Kolben prefst das Öl durch zwei andere Ventile, welche sich nach Aufsen öffnen, in einen Behälter, der, über dem Cylinder angebracht, zur Luftblase dient, um das Auftreiben des Öls zu reguliren. Ein kurzes Stück Glasröhre, in welche der zur Kolbenstange dienende messingne Drath eingekittet ist, vertritt die Stelle des Kolbens, welcher, um die Reibung zu verhindern, eben so wenig gedichtet ist, wie der Durchgang des Kolbenstengels durch den Cylinderdeckel. Die Welle, auf welche die Bewegung des Uhrwerks übertragen wird, liegt mit einem Ansatz auf einem Rohre am untern Boden des Ölbehälters. Eine Feder drückt die Welle gegen das Rohr, so dafs das Öl durch die Öffnung, welche die Welle durchläfst, nicht ausfliefsen kann.

Da die *Carcel*schen Lampen fast immer zu Vergleichungen genommen werden, so mögen die gewöhnlichen Verhältnisse ihres Uhrwerks angegeben werden. Das Federhaus hat 2 Z. 8 L. im Durchmesser, ist 1 Z. hoch, und an der Axe desselben befindet sich aufser der Feder auch das erste Rad, welches 96 Zähne hat. Das erste Getriebe hat 12 Zähne, das zweite Rad 96 Zähne; das zweite Getriebe hat 12 Zähne, das dritte Rad 96 Zähne; das dritte Getriebe hat 8 Zähne, das vierte Rad 72 Zähne; das vierte Getriebe hat 8 Zähne, das fünfte Rad 25 Zähne; die vierte Axe trägt den Krummzapfen zur Bewegung der vorhin gedachten Welle. Es kommen 768 doppelte Kolbenzüge auf eine Umdrehung des Federhauses, welche bei 15 Zoll Hubhöhe wenig über eine halbe Stunde dauert; das fünfte Rad dreht eine Schraube ohne Ende mit zwiefachem Gewinde, an deren Axe sich ein zweiflügliger Windfang befindet.

Eine andere mechanische Lampe ist die von *Caveau*, der den Widerstand, um der Bewegung Dauer zu verschaffen (welchen *Carcel* durch das Räderwerk erzeugte) dadurch herstellte, dafs er das Öl durch enge Röhren gehen liefs. Das Räderwerk, welches acht Stunden geht, besteht hier aus einem am Federhause angebrachten grofsen Rade, welches in ein Getriebe greift, auf dessen Axe zwei excentrische Scheiben vier einfach wirkende Pumpen-

kolben in Bewegung setzen. Die Erfahrung hat gezeigt, dafs auch diese einfache Vorrichtung das Öl gleichmäfsig hebt.

Gagneau stellte noch eine andere Vorrichtung her. Um die Zahl der Kolbenbewegungen zu vermindern, ohne die Reibung zu vermehren, liefs er das Öl in Säckchen von Wachstaffent fliefsen, aus welchen dasselbe dann, nachdem sich die nach Innen sich öffnenden Ventile geschlossen haben, durch flache messingne Scheiben, welche als Kolben wirken, durch die sich nach Aufsen öffnenden Ventile getrieben wird. Der Raum, in welchem das aufgetriebene Öl sich sammelt, dient zugleich zur Luftblase.

Es giebt noch eine Menge anderer Lampen, die alle zu beschreiben hier nicht der Ort ist. Ehe wir jedoch die Lampen für Leuchtthürme erster Classe näher bezeichnen, sollen zur Vergleichung die Ergebnisse einer Reihe von Versuchen, welche *Karmarsch* anstellte, kurz mitgetheilt werden.

1. *Carcelsche Uhrlampe mit Brenner von weifsem Blech.*

Innerer Durchmesser des Brenners	7,7	Linien.
Äufserer Durchmesser des Brenners	10,5	–
Breite des Dochtraums	1,4	–
Zugglas. Höhe, vom Brenner an gemessen	78,4	–
Zugglas. Unterer Durchmesser	18,2	–
Zugglas. Oberer Durchmesser	14,1	–
Zugglas. Höhe des Bauchs oder der Einziehung über dem Brenner	4,5	–
Weite des äufseren Luftzuges	3,8	–

2. *Arbeitslampe mit flachem Dochte, seitwärts angebrachtem Ölbehälter und mit einem cylindrischen Zugglase.*

Breite des Dochts	8,6	Linien.
Breite des Dochtraums	1,6	–
Durchmesser des Mantels	13,7	–
Zugglas. Hoch	68,8	–
Zugglas. Weit	19,8	–
Zugglas. Höhe seines untern Randes über dem Brenner	2,5	–

3. *Sinumbra-Lampe. Brenner von weifsem Blech; Winde mit gezahnter Stange.*

Durchmesser des Brenners äufserer	10,0	Linien.
Durchmesser des Brenners äufserer, oben im Ringe,	9,4	–
Durchmesser des Brenners innerer	5,9	–

Weite des Dochtraums	oben an der Mündung . . .	1,75	Linien.
	unten	2,05	–
Zugglas.	Oberer Durchmesser	13,2	–
	Unterer Durchmesser	18,7	–
	Höhe vom Brenner an	80,6	–
	Entfernung des Bauchs über dem Brenner .	3,4	–
Weite des äufsern Luftzuges		4,3	–
Kranz.	Äufserer Durchmesser	105,0	–
	Innerer Durchmesser	62,0	–
	Höhe	4,6	–

Die Brenner-Öffnung liegt 1,1 Linien über dem höchsten Rande des Kranzes.

4. *Wandlampe mit Flasche und messingnem Sinumbra-Brenner.*

Durchmesser des Brenners.	Innerer	8,5	Linien.
	Äufserer	11,4	–
Weite des Dochtraums		1,4	–
Zugglas.	Oberer Durchmesser	14,6	–
	Unterer Durchmesser	20,5	–
	Höhe vom Brenner an	87,0	–
	Entfernung des Bauchs über dem Brenner . .	6,8	–
Weite des äufsern Luftzuges		4,5	–

Das Niveau im Brenner liegt 4,1 Linien unter der Öffnung in der Flasche.

5. *Hydrostatische Lampe nach Thilorier; nur der Brenner oben nicht zusammengezogen.*

Durchmesser des Brenners.	Innerer	8,4	Linien.
	Äufserer	10,5	–
Weite des Dochtraums		1,05	–
Zugglas.	Oberer Durchmesser	14,1	–
	Unterer Durchmesser	17,8	–
	Höhe vom Brenner an	101,6	–
Weite des äufsern Luftzuges		3,1	–

Das Öl steigt bis zur Brenner-Öffnung.

Versuche mit der	Lichtstärke im Laufe von sechs Stunden						Lichtstärke im Vergleich mit Nro. 1.			Oelverbrauch in 6 Stunden	Verhältniss des Lichts aus 100 Loth Öl	Oelverbrauch für gleiche Lichtmengen
	erste Stunde	zweite Stunde	dritte Stunde	vierte Stunde	fünfte Stunde	sechste Stunde	in der ersten Stunde	in der sechsten Stunde	Durchschnitt			
1. Carcelschen Uhrlampe							100	100	100	13,31	751	13,31
2. Arbeitslampe . .	100	95	90	77	80	53	23,5	13,4	19,3	4,04	478	20,93
3. Sinumbra-Lampe . .	100	104	92	78	75	56	62,3	35,1	52,5	8,74	600	16,65
4. Wandlampe mit Flasche	100	107	87	76	55	46	76,1	35,3	59,9	10,96	546	18,30
5. Hydrostatischen Lampe	100	101	92	92	92	81	111,2	90,4	103,5	11,95	866	11,54

Breuzin's Lampe mit constantem Ölspiegel, im polyt. Centralblatt 1847. S. 1253 beschrieben, giebt neuern Versuchen zufolge sehr günstige Resultate. Die Lampe leuchtet ungefähr 12 Stunden und verzehrt in dieser Zeit nur $13\frac{3}{8}$ Loth Öl; über 8 Stunden hat die Flamme ein weifses Licht; die Leuchtkraft ist = 56, wenn die der Uhrlampe = 100 gesetzt wird.

Seit 1819 beschäftigten sich ***Fresnel*** und ***Arago*** mit der Vervollkommnung der Beleuchtung, und vier Jahre später wurde von diesen verdienten Männern die Verbindung der concentrischen Dochte von ***Rumford*** mit mechanischen Lampen von ***Carcel*** ausgeführt und dadurch die Beleuchtung um einen bedeutenden Schritt gefördert; es wurde nicht allein an Öl gespart und an Leuchtkraft gewonnen, sondern es wurde auch dadurch die Möglichkeit erzielt, eine bedeutende Lichtmasse auf einen Punct zu ***concentriren.*** ***Reibell*** (Programme d'un Cours de Construction, ouvrage de feu ***Sganzin,*** par ***Reibell*** 1841. Bd. III.) giebt die Vergleichung zwischen den Lampen mit concentrischen Dochten und den gewöhnlichen von ***Carcel*** folgendermafsen an. Lampen mit 2 concentrischen Dochten ersetzen 5 Lampen von ***Carcel;*** 3 concentrische Dochte ersetzen 10 einfache Lampen, und 4 concentrische Dochte, in einem Brenner von 0,29 Zoll Durchmesser, entsprechen 17 Lampen von ***Carcel.***

Die Lampen für Leuchtthürme erster Classe haben 4 concentrische Dochte. also auch 4 concentrische Brenner, welche durch leere Räume von einander getrennt sind, um der Luft den Zugang zu gestatten. Durch das Pumpenwerk wird das Öl reichlich in die Brenner hinaufgetrieben, so dafs dieselben gegen zu starke Hitze der vereinigten Flammen durch den schlechten Leiter geschützt werden. Die Verkohlung der Dochte ist bei weitem nicht so stark, als man vermuthen sollte, und die Zuführung des Öls nimmt fast nicht ab.

da die grofse Hitze das Aufsteigen des Brennstoffs in den Dochten sehr befördert. *Stevenson* sah die grofse Lampe des Thurms von *Cordouan* 7 Stunden brennen, ohne dafs sie geputzt oder die Dochte gehoben wären. Auf den Schottischen Leuchtthürmen brennen die Lampen oft 17 Stunden, ohne dafs man die Dochte berührte. Die verticale Bewegung jedes einzelnen Dochts geschieht durch gezahnte Stangen und Getriebe; die Brenner sind unter einander durch verticale dünne Bleche verbunden, um den Zugang der Luft möglichst wenig zu hindern; die Galerie, welche das Zugglas trägt, wird durch Klemmschrauben in der geeigneten Höhe festgehalten; das Glas hat oben einen Aufsatz von Eisenblech, in welchem ein Schieber angebracht ist, um den Zug beliebig reguliren zu können.

Da es vorkommt, dafs durch Unordnungen im Pumpenwerk die Lampe erlischt, wie es z. B. auf dem Leuchtthurm von *Cordouan* wiederholt geschahe, so hat man auch wohl eine *Alarm-Vorrichtung* angebracht, bestehend aus einer kleinen Schale, welche, am Boden durchbohrt, einen Theil des von den Dochten überfliefsenden Öls aufnimmt. Ist dies Gefäfs gefüllt, so hält es einem an dem andern Ende des Hebels angebrachten Gewichte das Gleichgewicht: hört der Zufluls auf, so leert sich die Schale und durch das Niedersinken des Gewichts wird eine Feder gelöset, welche eine Glocke so stark in Bewegung setzt, dafs der etwa schlafende Wächter erwachen mufs. *Alan Stevenson* glaubt, dafs durch diese Vorrichtung die Aufmerksamkeit der Wächter eingeschläfert wird und hat daher auf den Schottischen Leuchtthürmen die Einrichtung so gemacht, dafs das periodische Läuten der Glocke mit dem Zuflusse des Öls zugleich aufhört. Um Unglücksfällen, welche durch das Erlöschen der Flamme entstehen könnten, vorzubeugen, ist es hauptsächlich nöthig, dafs in dem Leuchtraume eine *Reserve-Lampe* vorräthig sei, welche sofort angezündet werden kann. Man hat zu diesem Zwecke wohl eine gewöhnliche Lampe mit grofsem Dochte genommen, welche so eingerichtet ist, dafs die Flamme in den Brennpunct des Apparats kommt, wenn man nach Abschraubung der Brenner die Reservelampe aufsetzt.

Die vortheilhafteste Höhe der Flamme für Lampen mit vier concentrischen Dochten ist 3,2 bis 4,5 Zoll, für Lampen mit drei Dochten 2,5 bis 2,9 Zoll, für Lampen mit zwei concentrischen Dochten 2,2 bis 2,5 Zoll. Sie mufs durch sorgfältige Erhöhung oder Erniedrigung der Dochte und des Zugglases, so wie durch gröfsere oder geringere Drehung der Klappe in dem blechernen Aufsatze hervorgebracht werden. Die Axe der Lampe wird genau in die

Axe des weiter unten näher zu beschreibenden dioptrischen Apparats gebracht und die geeignete Höhe durch Stellschrauben hergestellt, welche an den Füfsen angebracht sind. Mittels einer Dosenlibelle mufs man aufserdem sich überzeugen, ob der Brenner vollkommen horizontal steht. Die Pumpen der Lampen müssen viermal so viel Öl heben, als wirklich verbraucht wird, damit die Dochte nicht so schnell verkohlen.

Die Lampe für Apparate erster Classe ist 4,37 F. hoch. Den obern Theil derselben und den Grundrifs stellt (Fig. 3 Taf. III.) dar. Der 1,46 F. hohe Ölbehälter hat unten einen Hahn, um das Öl ablassen zu können; das Saugrohr geht bis auf den Boden hinab und hat feine Öffnungen, um Unreinigkeiten von dem Pumpenwerk abzuhalten. Das Uhrwerk ist im untern Theile der Lampe angebracht, und der Stengel, welcher das Pumpenwerk in Bewegung setzt, geht durch eine Röhre, welche in das Ölgefäfs eingesetzt ist. In der Zeichnung ist *a* der Brenner, *b* der Glashalter, *c* die Schraube zum Heben der Dochte mittels der Zahnstange *d*, *e* das Rohr, welches dem Brenner Öl zuführt, *i* enthält 4 Pumpencylinder; die Kolben derselben werden durch die Stengel *k* in Bewegung gesetzt. Diese Einrichtung ist am deutlichsten aus dem Grundrisse zu sehen. Fig. *A* ist der verticale Durchschnitt eines Pumpencylinders und Fig. *B* der horizontale Durchschnitt der vier Kammern. In Figur *A* sieht man oben die Kammer, in welche das Öl getrieben wird; die Ventile derselben öffnen sich nach Aufsen, die untere Kammer steht mit dem Zuführungsrohre in Verbindung; die Ventile öffnen sich nach Innen. Fig *C* ist der Grundrifs der Ventile.

In dem Nachweise der Ausgaben für die Beleuchtung der Französischen Küsten im Jahre 1839 findet man den Verbrauch an Öl wie folgt:

Eine mechanische Lampe mit 4 concentrischen Dochten und mit einem Brenner von 2,6 Zoll Durchmesser, verzehrt stündlich 1,6 Pfund Öl, und jährlich, die Erhaltung der Lampen für die Wächter u. s. w eingeschlossen, 6773 Pfund Öl.

Eine mechanische Lampe mit 3 concentrischen Dochten, mit einem Brenner von 2,1 Zoll Durchmesser, verzehrt stündlich 1,07 Pfund Öl, und jährlich 4580 Pfund.

Eine mechanische Lampe mit 2 concentrischen Dochten, mit einem Brenner von 1,27 Zoll Durchmesser, verzehrt stündlich 6,41 Pfund Öl, und jährlich 1808 Pfund.

Eine hydrostatische Lampe verzehrt stündlich 0,12 Pfund Öl, und jährlich 510 Pfund.

Eine grofse Argandsche Lampe, mit Brenner von 0,76 Zoll Durchmesser, verzehrt stündlich 0,13 Pfund Öl, und jährlich 556 Pfund.

Eine mittlere Argandsche Lampe mit Brenner von 0,73 Zoll Durchmesser, verzehrt stündlich 0,11 Pfund Öl, und jährlich 471 Pfund.

Eine kleine Argandsche Lampe, mit Brenner von 0,70 Zoll Durchmesser, verzehrt stündlich 0,096 Pfund Öl, und jährlich 428 Pfund.

Die mechanischen Lampen erster Classe haben Dochte von 1,05, 2,03, 3,05 und 4,17 Zoll rectificirter Breite. Von den erstern beiden werden jährlich 38,2 Fufs, von den letztern beiden 31,8 F. verbraucht. Die mechanischen Lampen zweiter Classe haben Dochte von 1,38, 2,1 und 3,41 Zoll rectificirter Breite. Von den ersten beiden wurden jährlich 38,2 F., von den letztern 31,8 F. verbraucht. Die Lampen dritter Classe haben Dochte von 0,95 und 1,94 Zoll rectificirter Breite; von den erstern wurden jährlich 38,2 F., von den letztern eine Länge von 31,8 F. verbraucht.

Die *Erhaltungskosten* einer mechanischen Lampe schätzt man für die Dauer eines Jahres, in welchem dieselbe 4000 Stunden brennt, auf den zehnten Theil der *Anschaffungskosten*. Den Preis der mechanischen Lampen erster, zweiter und dritter Classe kann man ungefähr auf 190, 160 und 110 Thlr. rechnen.

Da die Lichtstrahlen in gerader Richtung fortgehen, so ist die Lichtmenge, welche, von einer einfachen Lampe ausgehend, das Auge eines Beobachters trifft, immer nur ein sehr geringer Theil der gesammten Lichtmenge. Das Feuer der Leuchtthürme braucht aber nur von einer gewissen gegebenen *Fläche* aus sichtbar zu sein; die über und unter diese Fläche fallenden Strahlen gehen nutzlos verloren, und da dies bei einfachen Lampen ein sehr bedeutender Theil der gesammten Lichtmenge sein würde, so ist es nöthig, diesen Strahlen eine solche Richtung zu geben, dafs sie nützlich werden. Dies geschieht durch *katoptrische* oder durch *dioptrische* Apparate.

Katoptrisches System der Beleuchtung.

Die Basis dieses Systems ist der bekannte optische Satz. „dafs Strahlen, „die auf spiegelnde Flächen fallen, unter einem Winkel zurückgeworfen werden, „welcher dem Einfallswinkel gleich ist; und zwar liegt der reflectirte Strahl „in einer Ebene, welche durch die in dem Einfallspunct errichtete Normale „und durch den Einfallsstrahl selbst geht."

Der Erfinder und die erste Benutzung *parabolischer* Spiegel sind nicht bekannt. *William Hutchinson* gedenkt zuerst in einer 1791 gedruckten Schrift der Errichtung von vier Leuchtfeuern zu *Bidstone* und *Hoylake* in dem Jahre 1763 und beschreibt grofse parabolische Reflectoren, welche aus hölzernen Formen mit eingesetzten Spiegeln hergestellt waren. In Frankreich soll *Teulere* in einer Abhandlung vom 26. Juni 1783 zuerst auf die Vortheile der parabolischen Reflectoren und auf die Verbindung derselben mit den Argandschen Lampen aufmerksam gemacht haben. Von *Borda* wurden zuerst auf dem Leuchtthurm von *Cordouan* Reflectoren angeordnet, welche aus plattirtem Kupferblech gemacht waren. Im Jahre 1786 wurden auch in *Schottland* auf der Insel *May* im *Frith of Forth* und auf der Insel *Cumbrae* im *Frith of Clyde* parabolische, aus Spiegelglas zusammengesetzte Reflectoren benutzt. Die Verwandlung fester Feuer in Drehfeuer soll nach einigen Schriftstellern von dem oben erwähnten *Teulere*, nach andern von *Lemoine*, Maire zu *Calais*, zuerst angeregt sein.

Die Eigenschaft der *Parabel*, dafs eine Linie, vom Brennpuncte nach einem beliebigen Puncte der Curve gezogen, mit der Tangente jenes Puncts einen Winkel bildet, welcher demjenigen gleich ist, den eine Parallele mit der Axe der Curve mit der Tangente einschliefst, ist für die Beleuchtung wichtig. Es folgt aus diesem Satze, dafs die Parabel, um ihre Axe gedreht, eine innere Fläche giebt, welche alle aus dem Brennpuncte auf sie fallenden Strahlen parallel mit der Richtung der Axe zurückwirft. Es ergiebt sich also, statt des einen mit der Axe parallelen Strahls, beim einfachen Lichte ein ganzes Strahlenbündel, welches die verticale Projection des Paraboloïds zur Basis hat.

Barlow (Philosophical Transactions of the royal Society of London, for the year 1847. S. 211) stellte zuerst vollständigere Untersuchungen über die Lichtverstärkung an, welche man durch Reflectoren erlangt. Es sei (Taf I. Fig. 3) L die Lampe, m, m seien zwei Reflectoren, welche entweder so gestellt werden können, dafs sie die reflectirten Strahlen entweder in paralleler Richtung auf den Schirm $P'P''$, oder auf die unmittelbar von den Strahlen der Lampe L erhellte Fläche werfen. Der Schirm ss möge in dem Maafse durchsichtig sein, dafs beim Durchgange der Strahlen durch denselben die gleiche Quantität Licht verloren geht, welche durch die reflectirenden Spiegel absorbirt wird. Werden nun die Strahlen, parallel mit den ursprünglichen von L nach P gehenden Lichtstrahlen, von den Spiegeln m, m auf den Schirm $P'P''$ geworfen, so erhält man drei gleich grofse und gleich stark beleuchtete Flächen.

Werden die Spiegel so gestellt, dafs die reflectirten Strahlen mit den direct von der Lampe ausgehenden Strahlen in P zusammenfallen, so erhält man zwar keine gröfsere beleuchtete Fläche, aber die Intensität der Beleuchtung ist um das Dreifache gestiegen. Setzt man diese Betrachtungen weiter fort, so sieht man leicht, dafs die Beleuchtungskraft der Zahl der Spiegel, oder, was dasselbe ist, der auf den Schirm projicirten Oberfläche derselben, proportional ist. Stellt man sich daher den ganzen Raum zwischen m und n durch Spiegel ausgefüllt vor, welche die Strahlen parallel mit dem ursprünglichen Strahl auf den Schirm $P'P''$ werfen, so wird die Beleuchtungskraft des Reflectors durch das Verhältnifs des durch die directen Strahlen entstandenen Bildes und der ganzen Oberfläche des Schirms $P'P''$ ausgedrückt werden. Es ändert sich in diesem Verhältnisse nichts, die Strahlen mögen auf eine kleinere Oberfläche zusammengedrängt, oder auf eine gröfsere zerstreut werden: denn im ersten Falle nimmt die Intensität der Beleuchtung zu, im letzten nimmt sie ab. Es ist demnach das Maafs der Beleuchtungskraft eines Reflectors die verticale Endfläche desselben, dividirt durch die wirksame Fläche des Lichts, vermindert um den Lichtverlust bei der Reflexion.

Die verstärkende Kraft eines Reflectors läfst sich auch noch auf andere Weise finden; denn die Lenchtkraft der auf den Reflector fallenden Strahlen verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung des Reflectors von dem leuchtenden Puncte, oder direct wie das Quadrat des halben Winkels, welchen die äufsersten Strahlen bilden; oder auch direct wie der Sinusversus desselben halben Winkels. Diese Gröfsen sind, um die verstärkende Kraft zu finden, mit dem Sinusversus des halben Winkels, welchen der leuchtende Körper mit einem Punct auf dem Reflector bildet, zu vergleichen. Für parabolische Spiegel hat man, um die Vergleichung auszuführen, die mittlere Entfernung der spiegelnden Fläche von dem Brennpuncte zu suchen. Es sei (Taf. I. Fig. 4) ADB ein parabolischer Reflector, C der Brennpunct, so ist DC die kleinste, AC die gröfste Focal-Distanz. Die von C ausgehenden und auf den Spiegel ADB fallenden Strahlen werden mit der Axe parallel auf die Tafel $GH = AB =$ der Öffnung des Paraboloïds geworfen. Wird nun von C aus der Theil einer Kugel-Oberfläche mon beschrieben, welche dieselbe Menge Lichtstrahlen auffängt, wie das Paraboloïd, und deren Fläche gleich der Fläche $AB = GH$ ist, so ist auf derselben die gleiche Lichtmenge gleichmäfsig vertheilt; es mufs mithin der Radius dieser Kugel die mittlere Focal-Distanz sein. Um Co zu finden, beschreibe man aus C mit CA den Theil AEB einer Kugelfläche.

Es ist $CA = DF + DC$, folglich $ED = DF$, $EF = EC + CF = AC + CF$, mithin $DF = \frac{1}{2}(AC + CF)$. Die kleinste Focal-Distanz ist $DC = DF - CF = \frac{1}{2}(AC - CF)$. Ist $AC = r$, $CF = h$, so ist die gröfste Focal-Distanz $= r$, die kleinste $= \frac{1}{2}(r - h)$. Die Oberfläche des Kugelsegments AEB ist $2r\pi(r + h)$ und die Oberfläche von AB ist $(r^2 - h^2)\pi$. Ist der Radius des gesuchten Kugelsegments mon, gleich x, so verhalten sich die Oberflächen der Segmente AEB und mon wie r^2 zu x^2. Da die Fläche des Kugelsegments mon gleich der verticalen Fläche $AB = \pi(r^2 - h^2)$ ist, so erhält man die Proportion:

$$2r\pi(r + h) : \pi(r^2 - h^2) = r^2 : x^2, \text{ also}$$

$$2r(r + h)x^2 = (r^2 - h^2)r^2 \text{ und}$$

$$x^2 = \frac{r^2 - h^2}{2r(r + h)} \cdot r^2 = \frac{1}{2}r(r - h), \text{ folglich}$$

$$x = \sqrt{(\tfrac{1}{2}r(r - h))}.$$

Mithin ist die mittlere Focal-Distanz die mittlere Proportionale zwischen der gröfsten und der kleinsten Focal-Distanz. *Barlow* berechnete die Verstärkung für einen Reflector, der, von einer Argandschen Lampe (die 1 Zoll im Durchmesser haltende Flamme war $1\frac{3}{4}$ Zoll hoch) beleuchtet, 12 Zoll gröfste und 3 Zoll kleinste Focal-Distanz hatte. Er fand nach der ersten Methode für die Verstärkung der einfachen Flamme 193,8, nach der zweiten Methode 192,9. Für ein *Drummond*sches Licht, dessen Kreidekugel $\frac{3}{8}$ Zoll Durchmesser hatte, fand sich eine Verstärkung von 3079 und 3071. Nach *Alan Stevenson* ist die gröfste Verstärkung der gewöhnlichen festen Feuer durch Reflectoren 350, und die der Drehfeuer, welche gröfsere Reflectoren haben, 450.

Würde in dem Brennpuncte eines genau parabolischen Spiegels ein unendlich kleines Licht angebracht, so würde von der Fläche des Reflectors ein Strahlenbündel ausgehen, welches in allen Theilen einen gleichen Querschnitt und gleiche Intensität hätte; es läfst sich dies aber nicht erreichen, da man weder vollkommen genau-parabolische Spiegel, noch unendlich kleine leuchtende Körper herstellen kann; auch würden solche genaue mathematische Verhältnisse für die Praxis unbrauchbar sein; wie leicht aus der folgenden Betrachtung erhellet. Es werde nemlich in den Brennpunct eines genau-parabolischen Spiegels, dessen gröfste doppelte Ordinate 2 F. ist, ein leuchtender Punct gebracht, so geht von dem Reflector ein mit der Axe paralleles cylindrisches Strahlenbündel aus. Läfst man nun den Reflector um eine verticale Axe sich drehen, und zwar so schnell, dafs der Strahlencylinder in einer Secunde das Auge eines 100 F. entfernten Beobachters passirt, so würde ein 15 Engl.

Meilen entfernter Beobachter den Strahlencylinder nicht mehr sehen, da er sich nur $\frac{1}{702}$ Secunde lang dem Auge zeigen würde: eine viel zu kurze Zeit, um einen hinreichend deutlichen Eindruck hervorzubringen.

Dieser theoretische Mangel macht sich, wie schon erwähnt, in der Praxis nicht fühlbar, da nicht leuchtende ***Puncte,*** sondern ***Flammen*** von bestimmten Maafsen in die Brennpuncte gebracht werden. Ist (Taf. I. Fig 5) PF die Entfernung eines beliebigen Puncts der Parabel von dem Brennpunct F, PG die Tangente, an die Oberfläche der Flamme gezogen, und FG der Radius der Flamme (indem man für die cylindrische Flamme eine Kugel von gleicher Oberfläche setzt), so ist $GPF = G'PF'$ die Divergenz an einer Seite des Spiegels, mithin die gesammte Divergenz $2GPF$. Nun ist $\sin GPF = \frac{GF}{PF}$ gleich dem Radius der Flamme dividirt durch die Entfernung des Brennpuncts von dem Reflexionspuncte. Daraus folgt, dafs die Divergenz, weil der Sinus mit dem Winkel wächst, sich vergröfsert, wenn die Entfernung der reflectirenden Oberfläche von dem Brennpuncte abnimmt, mithin die gröfste Divergenz im Scheitel der Parabel Statt findet. Das schwache Licht, welches bei der Drehung eines Reflectors zuerst das Auge eines entfernten Beobachters trifft, ist also nicht, wie man vermuthen könnte, von den Enden des Reflectors zurückgeworfen, sondern von dem Scheitel. Je mehr sich der Spiegel dreht, um so mehr Strahlen treffen das Auge; bis zuletzt die Strahlen, welche von den äufsersten Puncten des Reflectors am wenigsten divergent ausgehen, ebenfalls vom Auge aufgefafst werden; dann bleibt die Stärke des Lichts unverändert, bis der entgegengesetzte äufsere Rand und mit demselben die geringste Divergenz erreicht wird und nun eine Abnahme der Lichtstärke bis zum gänzlichen Verschwinden erfolgt. In (Fig. 5 Taf. I.) ist die Divergenz für drei verschiedene Puncte gezeichnet. Für die Flamme ist, wie schon gesagt, eine leuchtende *Kugel* angenommen.

Barlow giebt in seiner oben angeführten Abhandlung *„On different modes of illuminating Ligthouses"* folgende interessante Tafel der allmäligen Zu- und Abnahme der Lichtstärke von Drehfeuern. Die Reflectoren mit *Argand*schen Lampen sind an drei Seiten angebracht und machen in acht Minuten eine Umdrehung; die *Drummond*schen Lichte sind auf acht Seiten angebracht; der Apparat braucht 21 Minuten 20 Secunden zu einer Umdrehung. Die Lichtstärke ist in *Argand*schen Lampen ausgedrückt, welche in Reflectoren von 21 Z. Durchmesser gesetzt sind.

Zeitsecunden.	Drei Seiten. Einzelne Reflectoren mit Argandschen Lampen.	Drei Seiten. Zehn Reflectoren mit Argandschen Lampen.	Acht Seiten. Einzelne Reflectoren mit Kreidekugeln.
1	0,0285	0,285	7,72
2	0,0617	0,617	16,51
3	0,1019	1,019	27,33
4	0,1501	1,501	40,66
5	0,2133	2,133	57,48
6	0,2937	2,937	79,35
7	0,4019	4,019	108,98
8	0,5555	5,555	151,35
9	0,7905	7,905	216,98
10	1,0000	10,000	264,00
11	1,0000	10,000	264,00
12	1,0000	10,000	264,00
13	1,0000	10,000	264,00
14	1,0000	10,000	264,00
15	1,0000	10,000	264,00
16	1,0000	10,000	264,00
17	0,7905	7,905	216,98
18	0,5555	5,555	151,35
19	0,4019	4,019	108,98
20	0,2937	2,937	79,35
21	0,2133	2,133	57,48
22	0,1501	1,501	40,66
23	0,1019	1,019	27,33
24	0,0617	0,617	16,51
25	0,0285	0,285	7,72
26	dunkel.	dunkel.	dunkel.

Bei den Reflectoren fester Feuer mufs die horizontale Divergenz der Strahlen bedeutender sein, als bei Drehfeuern; denn es soll durch die ersteren der ganze Horizont beleuchtet werden. Mit Hülfe der obigen Formel sin $GPF = \frac{GF}{PF}$ läfst sich jede gewünschte Divergenz herstellen; was sowohl durch die Verlegung des Brennpuncts, mehr oder weniger entfernt vom Scheitel der Parabel, als auch durch Veränderung der Flamme geschehen könnte; jedoch ist das letztere Mittel nicht zuläfslich, da die als zweckmäfsig erkannte Gröfse des Brenners nicht verändert werden darf. Man sieht leicht, dafs bei festen Feuern zwischen den einzelnen Reflectoren Räume vorkommen, welche ein geringeres Licht haben, als die von den Strahlen der geringsten Divergenz beleuchteten Räume; denn es ist fast unmöglich, so viele Reflectoren anzubringen, dafs der ganze Horizont ein gleichmäfsiges Licht bekommt.

Werden z. B., wie häufig in der Praxis, Reflectoren, deren Focal-Distanz 4 Z. und deren gröfste doppelte Ordinate 21 Z. ist, durch eine Flamme von 1 Z. Durchmesser beleuchtet, so ist die gröfste Divergenz 14 Gr. 22 Min. und die Divergenz des stärksten Lichts nur 5 Gr. 16 Min. Dies ist eine so grofse Differenz, dafs, während eine unvollkommne Beleuchtung des ganzen Horizonts durch 26 Reflectoren geschehen könnte, zur vollkommnen Beleuchtung 68 Reflectoren nöthig sind, welche nicht allein bei weitem mehr Öl verzehren, sondern die auch in mäfsig-grofser Laterne sehr schwer sich befestigen lassen. Wo möglich richte man die Stellung der Reflectoren für eine Divergenz von 11 Gr. ein; denn über diese hinaus ist das Licht sehr schwach.

Aus dem Vorhergehenden folgt schon, dafs für feste Feuer Reflectoren mit geringer Focal-Distanz und kleiner Öffnung zweckmäfsig sind, um möglichst viele derselben um einen Rahmen anbringen zu können; während es dagegen für Drehfeuer besser ist, den Reflectoren die möglich-gröfste Öffnung mit grofser Focal-Distanz zu geben, um wo möglich jede Seitenfläche des Rahmens durch einen Reflector erleuchten zu können.

Es bleibt nun noch übrig, die in verticaler Richtung nothwendige Divergenz, welche von der Lage des Leuchtthurms abhangt, zu erwägen. Können sich die Schiffe dem Leuchtfeuer nur bis auf mehrere Stunden nähern, so würde es überflüssig sein, den Raum bis zu jener Entfernung hin zu erleuchten; wohingegen durch Leuchtthürme auf Klippen, an welchen die Schiffe unmittelbar vorbeisegeln können, auch die nähere Umgebung beleuchtet werden mufs, weil sonst Schiffen, die sich unter den tiefsten Strahlen befinden, das Leuchtfeuer nicht sichtbar sein würde.

Barlow hat folgende Tafel der verticalen Divergenzwinkel (nemlich der doppelten Winkel, welche ein Lichtstrahl nach der geringsten Entfernung, in welcher er noch sichtbar sein soll, hingezogen, mit der Horizontale bildet) berechnet, welche die Reflectoren verschieden hoher Leuchtthürme haben müssen, um in gewissen Entfernungen noch gesehen zu werden.

Höhe des Leucht-thurms.	Entfernung, in welcher das Licht zuerst gesehen werden soll.									
	½ Engl. Meile.		1 Engl. Meile.		2 Engl. Meilen.		3 Engl. Meilen.		4 Engl. Meilen.	
	Gr.	Min.	Gr.	Min.	Gr.	Min.	Gr.	Min.	Gr.	Min.
100 F.	4	20	2	12	1	7	0	46	0	36
200 -	8	40	4	22	2	12	1	30	1	10
300 -	12	58	6	32	3	18	2	14	1	42
400 -	17	14	8	42	4	22	2	56	2	14
500 -	20	28	10	50	5	28	3	40	2	46

Die Reflectoren der bessern Leucht-Apparate werden aus Kupfer gemacht und mit Silber plattirt. Auf 16 Unzen Kupfer nimmt man 4 Unzen Silber. Mit Schlägeln und Hämmern von verschiedener Form und aus verschiedenem Stoff werden die Bleche in die parabolische Form gebracht, und die innere Fläche wird sorgfältig polirt.

Die zu diesen Apparaten gehörigen Lampen sind gewöhnlich die oben beschriebenen *Argand*schen mit Flasche (Taf. III. Fig 1). Man hat sich, um dem Brenner genau die gehörige Stellung zu geben, des mit einem verticalen und einem horizontalen Maafsstabe versehenen Justirungs-Apparats bedient, welcher sich gegen den Scheitel des Paraboloïds lehnt und zugleich an drei andere, in der verticalen Ebene der gröfsten Ordinate gelegene Puncte des Spiegels durch Klemmschrauben befestigt wird. Der horizontale Maafsstab, welcher sich gegen den Scheitel lehnt, hat ein kurzes Rohr, welches zur Aufnahme des Brenners dient und dadurch sowohl die horizontale als die verticale Stellung desselben bestimmt. Der Justirungs-Apparat ist daher nur für Reflectoren von derselben Focal-Distanz passend; dagegen können die Öffnungen der Spiegel willkürlich sein, indem die Maafsstäbe in den Führungen verschiebbar sind. Länge und Form des Rohrs, welches die Flasche mit dem Brenner verbindet, mufs so lange verändert werden, bis der Brenner in das Rohr des Justirungs-Apparats pafst. Ein geschickter Arbeiter erwirbt sich bald so viel Übung, dafs er fast immer ohne weitere Verbesserungen das Rohr in der richtigen Länge abschneidet und demselben die richtige Höhe giebt; er mufs sich besonders hüten, das Rohr zu kurz abzuschneiden.

Damit sich Lenchtfeuer, sowohl von einander, als von andern zufälligen Feuern *unterscheiden*, ist es nöthig, jedem Leuchtfeuer einen bestimmten *Charakter* zu geben. Derselbe wird meistentheils durch das Verhältnifs der Verdunklung und Erhellung ausgedrückt. Man unterscheidet unter den *katoptrischen* Leuchtfeuern sieben verschiedene Arten: ***Feste Feuer; Drehfeuer; rothe und weifse Drehfeuer; roth- und doppeltweifse Drehfeuer; weifs- und doppeltrothe Drehfeuer; Funkelfeuer; intermittirende doppelte, feste Feuer; und doppelte Drehfeuer.***

Das *feste* Feuer zeigt sich immer gleich und ohne Veränderungen. Es hat, wie oben gesagt, kleine Reflectoren; die Axen derselben sind unter einem solchen Winkel geneigt, dafs der ganze Horizont erleuchtet wird.

Die *Drehfeuer* werden durch die Umdrehung eines Rahmens hervorgebracht, welcher an drei oder vier Seiten grofse Reflectoren mit parallelen

Axen trägt. Die Umdrehung des Rahmens geschieht in zwei, oder in einer Minute; je nachdem es nöthig ist. Über die Veränderlichkeit der Lichtstärke für einen beliebigen Punct der beleuchteten Fläche, je nach der Lage der Reflectoren-Axen, ist oben ausführlicher gesprochen.

Die *abwechselnd rothe und weifse Farbe* der Leuchtfeuer wird durch die Umdrehung eines Rahmens hervorgebracht, welcher an einzelnen Seiten die Lichtstrahlen durch ein rothes Medium fallen läfst. Wie schon gedacht, kann man auch zwei weifse auf ein rothes, oder zwei rothe auf ein weifses Licht folgen lassen. Eine weiter gehende Unterscheidung auf diese Weise möchte aber nicht rathsam sein, da nur die einfachsten Verhältnisse die Gefahr der Verwechslung vermeiden.

Die *Funkelfeuer* werden auf ähnliche Weise wie die Drehfeuer hervorgebracht. Es werden die Endflächen der Reflectoren vertical, die Axen aber gegen den Horizont geneigt gestellt; was dann, verbunden mit der gröfsern Umdrehungsgeschwindigkeit, eine von dem des Drehfeuers ganz verschiedene Wirkung macht, indem das Licht beständig zu- oder abnimmt.

Das *intermittirende Feuer* zeigt sich plötzlich, bleibt eine kurze Zeit unverändert und wird dann wiederum auf eine halbe Minute verdunkelt. Die Verdeckung des Lichts geschieht durch die verticale Bewegung undurchsichtiger Tafeln, welche vor der Öffnung der Reflectoren angebracht sind. Die beiden letztern Arten wurden vor noch nicht langer Zeit zuerst an den Schottischen Küsten eingeführt.

Eine andere Unterscheidung der Feuer geschieht durch die *beständige Färbung* derselben. Dies ist jedoch nur im Nothfall rathsam, indem durch das zwischen die Flamme und das Auge des Beobachters gebrachte farbige Medium ein Theil der Lichtstrahlen zurückgehalten und also die Leuchtkraft vermindert wird. Versuchen zufolge sind *roth, blau* und *grün* die einzigen brauchbaren Farben; auch beide letztere nur für Entfernungen passend, die für Leuchtfeuer selten hinreichend sind. Um eine hinreichend deutliche Färbung zu erzielen, mufs die *rothe* Farbe des Mediums *dunkel* sein; wodurch dann die Leuchtkraft auf Viersiebentel bis Fünfsechstel vermindert wird.

Die *doppelten Feuer* liegen in *verschiedener Höhe;* meistens auf einem, seltener auf zwei Thürmen. Das erstere ist besser. Der Höhen-Unterschied zwischen beiden mufs so grofs sein, dafs der Seemann in der gröfsten Entfernung, in welcher das Leuchtfeuer noch sichtbar sein soll, das doppelte Feuer erkennen kann. In manchen Fällen ist dies jedoch auch nicht noth-

wendig; die örtlichen Verhältnisse müssen darüber entscheiden. Wäre die Divergenz der Strahlen nicht, so müfste der entfernteste Beobachtungspunct mit der Höhendifferenz der Feuer wenigstens einen Winkel von 13 Min. bilden: da aber die Divergenz der Strahlen eine frühere Vereinigung der Strahlen zur Folge hat, so mufs die Höhendifferenz der Feuer gröfser sein. *Alan Stevenson* fand durch Versuche, dafs die Strahlen des Feuers sich vereinigten, wenn die Höhendifferenz mit dem Auge des Beobachters einen Winkel von 3 Gr. 18 Min. einschlofs. Dies giebt für den geringsten verticalen Abstand H zweier Feuer, welche noch in der Entfernung M (in Fufsen ausgedrückt, so wie H) sichtbar sein sollen:

$$H = 2M \operatorname{tang} \varphi;$$

wo $\varphi = \frac{1}{2}(3 \text{ Gr. } 18 \text{ Min.}) = 1 \text{ Gr. } 39 \text{ Min.}$ ist.

Es kommt bisweilen vor, dafs ein Leuchtfeuer in einer bestimmten Richtung *nicht* sichtbar sein soll, um dem Seemanne entweder die Vermeidung einer Sandbank, Klippe u. s. w. zu erleichtern, oder ihm sonst ein Hülfsmittel zur Führung seines Schiffs an die Hand zu geben. Auch in diesem Falle verursacht die Divergenz der Strahlen einige Schwierigkeiten. *Stevenson* stellte über diesen Gegenstand Versuche an, indem er auf einem von der Küste etwa $1\frac{1}{2}$ Meilen entfernten Leuchtthurme das Feuer auf 30 bis 40 Gr. verdunkelte und dann auf dem Ufer die Puncte bezeichnete, zwischen welchen das Licht verschwand. Dann wurde durch Triangulation der Winkel, mit dem Mittelpunct der Laterne als Centrum, gemessen: die halbe Differenz dieses Winkels und des auf der Laterne verdunkelten Kreisstücks war die Abweichung, und es fanden sich für katoptrische Apparate 7 Gr. (für dioptrische 3 Gr.). Es ist aber nach der Ausführung eine scharfe Beobachtung nöthig, um sich von der Richtigkeit der Anordnung zu überzeugen.

Einen ähnlichen Zweck wie die beschriebenen Leuchtfeuer haben die sogenannten *Leitfeuer*, welche, *einander deckend*, dem Seemanne eine bestimmte Linie, öfters die Mitte, oder die Seite eines engen Canals u. s. w. anzeigen. Zuweilen dienen diese Feuer auch, um das dem Lande nähere gefährliche Fahrwasser von der sichern hohen See durch eine scharfe Linie zu trennen. In den meisten Fällen hat man Raum genug, die Thürme so entfernt von einander zu setzen, dafs schon eine kleine Abweichung des Schiffs von der vorgezeichneten Linie durch die Erscheinung des zweiten Feuers wahrnehmbar wird. Der Raum zwischen den beiden Feuern sollte, um die nöthige Schärfe zu gewähren, nicht weniger als Einsechstel der Entfernung

des äufsern Thurms von dem Puncte sei, wo die Leitung beginnen soll. Ist man gezwungen die Thürme einander näher zu setzen, so bringe man wo möglich das Feuer in die gleiche horizontale Ebene, weil dann eine genauere Vergleichung möglich ist.

(Taf. III. Fig. 5) ist der Durchschnitt eines *Drehfeuers*. Im Grundrifs bildet der Rahmen ein Quadrat; jede Seite hat abwechselnd zwei und drei Reflectoren. *nn* ist der Rahmen, *q* die Axe, welche oben durch die Querstäbe *s*, *s* gehalten wird; *o*, *o* sind die Reflectoren und *p*, *p* die Flaschen der Argandschen Lampen. Die kupfernen Röhren *r*, *r* führen die heifsen Gase ab; *u* ist eine kupferne Schale, welche die Feuchtigkeit auffängt, die vielleicht durch den mittleren Ventilator eintrat. Der gufseiserne Lagerstuhl *l* enthält die Pfanne, in welcher sich der Zapfen der Axe *q* dreht. Die Winkelräder *m*, *m* werden durch ein gewöhnliches Uhrwerk in Bewegung gesetzt.

Die Hohlspiegel der *festen Feuer* werden um einen cylindrischen Rahmen angebracht: gewöhnlich 13 Reflectoren *neben* nnd drei Reihen *unter* einander, welche so angeordnet sind, dafs die Berührungsfläche zweier Reflectoren der einen Reihe unter oder über die Mitte eines Reflectors der nächsten Reihe fällt.

Die Axen der Reflectoren auf Leuchtthürmen von mittlerer Höhe werden horizontal gelegt, indem man die genau ausgearbeitete vordere Fläche der Reflectoren in eine verticale Ebene bringt. Ist die Laterne bedeutend hoch über dem Meeresspiegel, so mufs man den vordern Flächen der Reflectoren eine kleine Neigung geben, so dafs ihre Axen Tangenten an den sichtbaren Horizont bilden. Der Brenner mufs natürlich jedenfalls horizontal stehen.

Aufser den einfachen Reflectoren hat man noch verschiedene Verbindungen von *spiegelnden Flächen* theils blofs vorgeschlagen, theils auch ausgeführt. Zu den ersteren gehört die von *Barlow* in den „*London Transactions 1837. S. 225*" angegebene Verbindung eines kugelförmigen Hohlspiegels mit dem parabolischen Spiegel. Der erstere, dessen Mittelpunct mit dem Focus des parabolischen Reflectors zusammenfällt, wird zwischen die Flamme und das Auge des Beobachters gebracht; die aufgefangenen Strahlen werden durch den Mittelpunct auf den Hauptreflector geleitet und von diesem in horizontaler Richtung zurückgeworfen. Entstände kein Verlust an Leuchtkraft durch die Reflexion des kleinen Spiegels, so hätte man die Summe der Strahlen erlangt, welche auf die Oberfläche des Kugeltheils fallen, weniger der Summe der Strahlen, welche der Hauptreflector auf den kleinen Spiegel wirft.

Eine ziemlich ausgedehnte Anwendung hat das sogenannte „*Sideralfeuer*" von ***Bordier Marcet*** gefunden; besonders für Häfen. Das Characteristische des Reflectors ist auch ohne Zeichnung leicht verständlich. Man stelle sich nemlich eine Parabel um ihren Parameter als Axe gedreht vor, und in den Mittelpunct dieser Axe einen leuchtenden Gegenstand gebracht: so werden die Strahlen desselben, welche auf die durch Umdrehung entstandene Fläche fallen, horizontal nach allen Seiten zurückgeworfen. Es kann also der Horizont durch eine Flamme nach allen Seiten gleichförmig erleuchtet werden. Für die Hafenfeuer der französischen Küste hat dieser Apparat meistens nur 15 Z. im Durchmesser.

Von ***Argand*** wurden 1806 und von ***Haudry*** 1808 verschiedene katoptrische Apparate vorgeschlagen; doch haben sie zu viele Mängel, als dafs eine nähere Beschreibung derselben von Nutzen sein könnte. Auch ***Bordier Marcet,*** so wie Capitain ***Smith,*** haben Apparate dieser Art beschrieben, welche jedoch ebenfalls wenig oder gar nicht zur Anwendung gekommen sind.

Dioptrisches System der Beleuchtung.

Das ***dioptrische*** System hat ganz denselben Zweck, wie das ***katoptrische.*** Nach beiden werden die aufgefangenen Lichtstrahlen parallel mit der Axe des Apparats, vollkommen oder doch annähernd horizontal hinausgeworfen. Das dioptrische System beruht auf dem bekannten optischen Satze: „Dafs ein Licht-„strahl, der in schiefer Richtung auf die Oberfläche eines Mittels von anderer „Beschaffenheit trifft, als das ist, in welchem er sich bis dahin befand, von „seinem bisherigen Wege so abgelenkt wird, dafs der Sinus des Brechungs-„winkels (nemlich des Winkels, welchen der gebrochene Strahl mit dem im „Einfallspuncte errichteten Perpendikel einschliefst) zu dem Sinus des Einfalls-„winkels (des Winkels zwischen dem Einfallstrahl und dem Perpendikel) ein „***constantes*** Verhältnifs hat, dessen Werth von der Beschaffenheit der beiden „Mittel abhangt. Die Ebene, in welcher der Strahl gebrochen wird, geht durch „die Richtung des ursprünglichen Strahls und durch das im Einfallspuncte er-„richtete Loth. Das Verhältnifs des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des „Brechungswinkels ist das ***Brechungs-Verhältnifs.*** Geht der Lichtstrahl aus „einem dünneren in ein dichteres Medium über, so wird er nach dem im Ein-„fallspuncte errichteten Perpendikel hin gebrochen; es ist also der Sinus des „Einfallswinkels gröfser, als der Sinus des Brechungswinkels. Umgekehrt

„verhält es sich, wenn der Lichtstrahl aus einem dichteren in ein dünneres „Medium übergeht."

Die Anwendung dieses Hauptgesetzes bildet fast die ganze Lehre von der Refraction. Es findet sich, wenn man das Brechungs-Verhältnifs zwischen Glas und Luft zu 1,5 annimmt, dafs der Einfallswinkel eines aus Glas heraustretenden Strahls nicht über 41 Gr. 49 Min. hinausgehen darf, weil sonst die Refraction in Reflexion übergeht, und dafs eine Tafel mit parallelen Flächen nicht die Richtung verändert, wohl aber eine geringe Verschiebung der Lichtstrahlen hervorhringt. Es findet sich ferner, dafs parallele Strahlen, auf eine biconcave Linse fallend, beim Austritt divergiren, während eine biconvexe Linse eine Convergenz der Strahlen hervorbringt.

In der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurden zuerst in England Linsengläser auf verschiedenen Leuchtthürmen benutzt, um das Licht zu verstärken. Die unvollkommene Form derselben und die grofse Menge Licht, welche das unreine und dicke Glas verschluckte, machten jedoch, dafs man, nach verschiedenen seltsamen Zusammenstellungen von Linsen und Spiegeln, zu den letzteren zurückkehrte. Die Vortheile einer aus mehreren ringförmigen Theilen zusammengesetzten Linse hob zuerst im Jahre 1773 *Condorcet* hervor. ***Brewster*** beschrieb in der „***Edinburgh Encyclopaedia***" im Jahre 1811 ein Verfahren, solche Linsen herzustellen, und erst 1822 lieferte ***Fresnel,*** unbekannt mit den oben genannten Schriften, eine genaue Beschreibung der Construction ringförmiger Linsen. Die Ausführung folgte der Beschreibung bald nach, und eine stark leuchtende Lampe machte den Apparat für Leuchtthürme geeignet. Die grofsen Vortheile dieser Einrichtung sind: dafs die Ausführung leichter und sehr genau möglich ist, dafs die sphärische Aberration fast ganz beseitigt wird und dafs auch gröfsere Linsen sich herstellen lassen. Die planconvexen Linsen für Leuchtthürme macht man gewöhnlich aus ***Crownglas***, welches zwar eine geringere beugende Kraft als das ***Flintglas*** und dazu eine grünliche Farbe hat, aber sehr homogen geliefert werden kann und den atmosphärischen Einflüssen gut widersteht.

Es ist bekannt, dafs die sphärische Aberration um so stärker ist, je weiter von der Axe entfernt die Strahlen auf eine Linse fallen. Man mufs also bei den aus einzelnen Ringen zusammengesetzten Linsen Halbmesser und Mittelpuncte der Ringe so bestimmen, dafs die Abweichung möglichst gering wird. Die folgenden Formeln sind von ***Fresnel*** aufgestellt; die ausführlichere Herleitung derselben hat ***Alan Stevenson*** in seinem Werke „***Account of the***

„Skerryvore Lighthouse, with Notes on the illumination of Ligthouses. Edin-„burgh 1848." S. 250 u. f. gegeben. Die mittlere Linse, um welche herum die übrigen gestellt werden, besteht im Durchschnitt aus einem Parallelogramm und aus einem Segment; die Höhe des erstern wird durch die zur Vereinigung der verschiedenen Theile nöthige Stärke bestimmt. Um den Radius des Segments zu finden, sei (Taf. I. Fig. 6) $v = BB''$ die halbe Öffnung der Linse, $B'B'' = r'$, $f = B''F$ die Focaldistanz, $t' = AB''$ die Stärke der Linse am Scheitel, $t'' = Bb$ die Stärke der Linse an den Endflächen, μ das Brechungs-Verhältnifs, ϱ der Krümmungshalbmesser, F der Brennpunct, C der Mittelpunct des Kreises, von welchem die Krümmung der Linse ein Theil ist. $FQPH$ ist der Weg eines durch doppelte Beugung aus der Richtung FQ in die Richtung PH gelenkten Lichtstrahls; die Richtung PQ werde bis zum Durchschnitt mit der optischen Axe verlängert: dann ist in G der Brennpunct der Lichtstrahlen nach der ersten Refraction. Man findet dann für den mit der Axe parallel einfallenden Strahl HP, da der Winkel HPT dem Winkel ACP gleich ist:

$$\mu = \frac{\sin PCG}{\sin GPC} = \frac{PG}{CG}$$

und für den austretenden Strahl $\mu = \frac{\sin QFG}{\sin QGF} = \frac{QG}{QF}$. Liegt der Einfallspunct in der Nähe der optischen Axe, so kann man $PG = AG$, $QG = B''G$ und $QF = B''F$ setzen. Ist $AG = p$ und $AC = \varrho'$, so erhält man

$$\mu = \frac{AG}{CG} = \frac{p}{p-\varrho'} \quad \text{und} \quad \mu = \frac{B''G}{B''F} = \frac{p-t'}{f};$$

$$\mu p - \mu\varrho' = p \quad \text{und} \quad \mu f = p - t'.$$

Durch Elimination von p ergiebt sich

$$\frac{\mu\varrho'}{\mu-1} = t' + \mu f, \quad \mu\varrho' = (\mu-1)(t'+\mu f) \text{ und}$$

$$\varrho' = (\mu-1)\left(f + \frac{t'}{\mu}\right).$$

Dieser Radius ist, wie schon aus der Herleitung zu sehen, nur für Puncte zuläfslich, welche in der Nähe der optischen Axe liegen. Um demnach die Aberration in den entfernteren Puncten zu hindern, mufs ein Radius gesucht werden, welcher die auf den äufsersten Rand fallenden Lichtstrahlen parallel mit der Axe beugt. Das arithmetische Mittel der beiden Radien wird dann mit annähernder Genauigkeit den Radius geben, welcher der geringsten Aberration gemäfs ist.

Es sei (Taf. I. Fig. 6) α der Winkel, welchen der nach dem äufsersten Rande der Linsen-Oberfläche gezogene Radius mit der optischen Axe bildet; $\varepsilon = BbB'$ der erste Beugungswinkel; $\eta = B'bC$ der zweite Beugungswinkel, mithin $\eta + \varepsilon = \alpha$; i der erste Einfallswinkel BFA, $= i'$; der Winkel $b'Bb = e$; $BB'' = r$; $B'B'' = r'$; $Bb = t''$ die Stärke der Linse an der Endfläche; $FB'' = f$, wie vorhin, die Focal-Distanz. Dann ergiebt sich

$$\text{tang}\, i' = \frac{r}{f} \quad \text{und} \quad \sin e = \frac{\sin i'}{\mu}.$$

Den Punct B' findet man leicht dadurch, dafs man BF und den durch das umschliefsende Glas gebrochenen Strahl Bb zieht, da $b'b$ sehr nahe gleich BB' ist. Da $\text{tang}\, e = \frac{bb'}{Bb}$ und $B''B' = BB'' - bb'$ ist, so ist $B''B' = r' = r - t'' \,\text{tang}\, e$. Aus dieser Formel ergiebt sich dann der erste Einfallswinkel i und der erste Beugungswinkel ε, denn es ist

$$\text{tang}\, i = \frac{r'}{f} \quad \text{und} \quad \sin e = \frac{\sin i}{\mu}.$$

Es ist Winkel $B'bC = BbC - BbB'$ oder $\eta = \alpha - \varepsilon$,

$$\sin\alpha = \mu \sin\eta = \mu(\sin\alpha - \varepsilon),$$

$$\sin\alpha\cos\varepsilon - \cos\alpha\sin\varepsilon = \frac{\sin\alpha}{\mu},$$

$$\sin\alpha\left(\cos\varepsilon - \frac{1}{\mu}\right) = \cos\alpha\sin\varepsilon,$$

$$\sin^2\alpha\left(\cos^2\varepsilon - \frac{2\cos\varepsilon}{\mu} + \frac{1}{\mu^2}\right) = \cos^2\alpha\sin^2\alpha.$$

Da aber $\cos^2\alpha\sin^2\alpha = (1 - \sin^2\alpha)\sin^2\varepsilon = \sin^2\varepsilon - \sin^2\alpha\sin^2\varepsilon$ ist, so ist

$$\sin^2\alpha\left\{(\cos^2\varepsilon + \sin^2\varepsilon) - \frac{2\cos\varepsilon}{\mu} + \frac{1}{\mu^2}\right\} = \sin^2\varepsilon.$$

Da $\cos^2\varepsilon + \sin^2\varepsilon = 1$ ist, so ergiebt sich

$$\sin^2\alpha = \frac{\sin^2\varepsilon}{1 - \frac{2\cos\varepsilon}{\mu} + \frac{1}{\mu^2}} = \frac{\mu^2\sin^2\varepsilon}{\mu^2 - 2\mu\cos\varepsilon + 1} \quad \text{und}$$

$$\sin\alpha = \frac{\mu\sin\varepsilon}{\sqrt{(1 - 2\mu\cos\varepsilon + \mu^2)}}.$$

Da $bC = \frac{a'b}{\sin ACb} = \frac{r}{\sin\alpha}$ ist, so ist, wenn $bC = \varrho''$ gesetzt wird,

$$\varrho'' = \frac{r}{\mu\sin\varepsilon}\sqrt{(\mu^2 - 2\mu\cos\varepsilon + 1)},$$

mithin der Radius der mittleren Linse:

$$\varrho = \tfrac{1}{2}(\varrho' + \varrho'') = \tfrac{1}{2}\left[(\mu-1)\left(f+\frac{t'}{\mu}\right)+\frac{r}{\mu\sin\varepsilon}\sqrt{(\mu^2-2\mu\cos\varepsilon+1)}\right].$$

Es ist nun auch für die das Mittelstück umgebenden Ringe der Radius der krummen Oberfläche und (was in dem vorigen Falle nicht nöthig war) es sind die Coordinaten des Mittelpuncts zu suchen.

Es sei (Taf. I. Fig. 7) $AB = r_1 =$ der Entfernung des äufsern Randes der Zone von der optischen Axe der Linse; $r_2 = AE =$ der Entfernung des innern Randes von der Axe; $l = r_1 - r_2 = BE$ die Breite der Zone; $AB' = r_1'$; $E'A = r_2'$; $Bb = t''$; $Cb = \varrho$ der Krümmungshalbmesser; $\eta = B'bC$ der zweite Winkel der Refraction; $\varepsilon = bB'k$ der erste Winkel der Refraction; $\varepsilon' = eE'k'$ der erste Winkel der Refraction für den letzten innern Strahl; $\eta' = emC$ der zweite Winkel der Refraction für denselben Strahl; $\alpha = bCQ$ der von dem äufsern Strahl bC mit der optischen Axe gebildete Winkel; $\alpha' = mCQ$ der von dem innern Strahl mC mit der optischen Axe gebildete Winkel; $i_1' = BFA$; $i_2' = EFA$; $i_1 = B'FA$; $i_2 = EFA$; $e_1 = BbB'$; $e_2 = EeE'$; f die Focal-Distanz. Verfährt man wie bei der vorigen Untersuchung, so erhält man folgende Formeln:

$$\tan i_1' = \frac{BA}{AF} = \frac{r_1}{f}, \quad \tan i_2' = \frac{EA}{AF} = \frac{r_2}{f};$$

$$\sin e_1 = \frac{\sin i_1'}{\mu}, \quad \sin e_2 = \frac{\sin i_2'}{\mu};$$

$$r_1' = r_1 - t''\sin e_1, \quad r_2' = r_2 - t''\sin e_2;$$

$$\tan i_1 = \frac{r_1'}{f}, \quad \tan i_2 = \frac{r_2'}{f};$$

$$\sin\varepsilon = \frac{\sin i_1}{\mu}, \quad \sin\varepsilon' = \frac{\sin i_2'}{\mu}.$$

Man findet alsdann

$$\sin\alpha = \frac{\mu\sin\varepsilon}{\sqrt{(\mu^2-2\mu\cos\varepsilon+1)}} \quad \text{und} \quad \sin\alpha' = \frac{\mu\sin\varepsilon'}{\sqrt{(\mu^2-2\mu\cos\varepsilon'+1)}}.$$

Der Winkel bCm ist $= \alpha - \alpha'$, und da das Dreieck bmC gleichschenklig ist, so ist der Winkel $bmC = 90$ Gr. $- \frac{1}{2}(\alpha - \alpha)$, also auch im Dreiecke bme der Winkel $bme = bmC - emC = 90$ Gr. $- \frac{1}{2}(\alpha - \alpha') - \eta$ und

$$\text{Winkel } bem = k'eE' = 90 \text{ Gr.} - \varepsilon'.$$

Da im Dreiecke bme die Seite be und die Winkel bme und bem bekannt sind, so findet sich

$$bm = \frac{be.\sin bem}{\sin bme} = \frac{l \sin k'eE'}{\sin\{90^0 - \frac{1}{2}(\alpha - \alpha') - \eta\}} \text{ oder}$$

$$bm = \frac{l\cos\varepsilon'}{\cos\{\eta + \frac{1}{2}(\alpha - \alpha')\}}.$$

Es läfst sich nun leicht der Radius finden, da im Dreiecke bmC die Seite bm, der Winkel bmC und der Winkel mCb bekannt sind. Nemlich

$$bC = \frac{bm \sin bmC}{\sin bCm} = \frac{l\cos\varepsilon' \cos\frac{1}{2}(\alpha - \alpha')}{\cos\eta + \frac{1}{2}(\alpha - \alpha')\sin(\alpha - \alpha')} \text{ oder}$$

$$bC = \frac{l\cos\varepsilon' \cos\frac{1}{2}(\alpha - \alpha')}{\cos[\eta + \frac{1}{2}(\alpha - \alpha')] \cdot 2\sin\frac{1}{2}(\alpha - \alpha')\cos\frac{1}{2}(\alpha - \alpha')},$$

und wenn man $bC = \varrho$ setzt:

$$\varrho = \frac{l\cos\varepsilon'}{2\cos[\eta + \frac{1}{2}(\alpha - \alpha')]\sin\frac{1}{2}(\alpha - \alpha')}.$$

Für die Coordinaten des Mittelpuncts findet sich, in Beziehung auf den Punct A:

$$CG = \varrho \sin\alpha - ab = \varrho \sin\alpha - r_1,$$
$$CQ = \varrho\cos\alpha - qQ = \varrho\cos\alpha - t''.$$

(Taf. I. Fig. 8) ist die Ansicht und der diagonale Durchschnitt einer *Fresnel*'schen Linse erster Classe, deren Focal-Distanz 920 Millimeter ist. Die folgende Tabelle giebt die verschiedenen Radien und die Coordinaten der Mittelpuncte in Millimetern an.

Nro.	Halbmesser der Peripherie.	Krümmungs-Halbmesser.	Coordinaten der Mittelpuncte für die Krümmungshalbmesser	
			x	y
1	140,00	483,50	454,79	00,00
2	208,15	543,60	488,55	13,08
3	262,40	598,62	513,38	31,72
4	309,20	659,77	540,71	57,00
5	350,50	719,84	565,27	84,86
6	387,44	779,48	588,00	114,93
7	422,23	846,45	614,35	151,50
8	456,23	911,30	636,90	189,55
9	490,00	980,30	660,11	230,17
10	523,33	1057,70	683,41	280,60
11	553,33	1136,01	712,79	328,00

Die ersten von *Soleil* in Paris verfertigten Linsen waren aus Zonen zusammengesetzt, welche unter einander durch kleine kupferne Stifte verbunden waren. Die gröfsere Genauigkeit der Arbeiter macht jetzt dergleichen Befestigungen entbehrlich; die Zonen werden nur durch einen metallischen Rahmen zusammengehalten, indem sie mit ihren concentrischen, nur $\frac{1}{4}$ Linie breiten End-

flächen genau auf einander passen; eine dünne Lage Kitt verbindet die sich berührenden Theile.

So wie bei den Reflectoren der leuchtende Gegenstand eine gewisse Ausdehnung haben mufs, um die nothwendige Divergenz der Strahlen hervorzubringen, so ist auch das Gleiche bei den Linsen nöthig. Die Divergenz richtet sich, wie bei den Reflectoren, nach dem Winkel, welchen eine vom Focus nach der Linse gezogene Linie und eine Tangente der Flamme, nach demselben Punct gezogen, einschliefsen: je gröfser dieser Winkel ist, desto gröfser ist die Divergenz. Daraus folgt unmittelbar, dafs, wie bei den Reflectoren, in der Mitte die gröfste und an den Enden die geringste Divergenz der Lichtstrahlen Statt findet. An dem Scheitel der *Fresnel*schen Linsen erster Classe findet sich für den Divergenzwinkel 5 Gr. 7 Min. Um die verstärkende Kraft der Linsen zu finden, würden dieselben Sätze anzuwenden sein, die bei den Reflectoren angegeben wurden; da aber wegen der viereckigen Form der Linsen eine mittlere Focal-Distanz nur mit grofser Schwierigkeit sich finden läfst, so kann man mit hinreichender Genauigkeit die vergröfserte Kraft der Beleuchtung aus der Oberfläche der Linse finden, dieselbe dividirt durch die Oberfläche der Flamme. Die Lichtstärke einer beleuchteten Linse erster Classe, in mäfsiger Entfernung gemessen, ist der von 3000 Argandschen Lampen gleich, und da die Flamme von 4 concentrischen Dochten 16 Argandschen Lampenflammen gleich gerechnet wird, so ergiebt sich eine 180mal verstärkte Beleuchtungskraft.

Die Linsen werden in einem gemeinschaftlichen Rahmen so zusammengefügt, dafs sie ein hohles achtseitiges Prisma bilden, in dessen Mitte die Lampe aufgestellt ist; ein Uhrwerk dreht den Rahmen um; wodurch dann einem entfernten Beobachter das Licht sichtbar wird, wenn sich sein Auge der optischen Axe einer der Linsen nähert. Die Wirkung unterscheidet sich von der der Reflectoren durch gröfsere Intensität und kürzere Dauer.

Da die über und unter einem Winkel von 46 Gr. von der Lampe ausgehenden Strahlen nicht mehr vortheilhaft von dem Linsen-Apparat aufgenommen werden können, so ersann *Fresnel* ein anderes Mittel, um auch diese Strahlen noch zu benutzen. Um die oben entweichenden Strahlen aufzufangen, bediente er sich acht kleinerer Linsen von 500 Millimeter Focal-Distanz, welche gegen die Lampe, als ihren gemeinschaftlichen Brennpunct, geneigt, eine abgestumpfte hohle achtseitige Pyramide von 50 Gr. Neigung bildeten. Das Licht, welches auf diese kleineren Linsen fällt, wird parallel mit Axe der-

selben gebrochen, geht also unter einem Winkel von 50 Gr. aufwärts und trifft auf acht ebene Spiegel, welche eine solche Neigung haben, dafs sie die Lichtstrahlen horizontal zurückwerfen. Die obern Linsen (Taf. I. Fig. 12) ordnet man gewöhnlich so an, dafs ihre Axen mit der Axe der grofsen Linse Winkel von 7 bis 8 Gr. bilden. Die Lichtstrahlen, welche von den kleinen Linsen gebrochen und von den Spiegeln reflectirt werden, gelangen auf diese Weise früher als die Hauptstrahlen in das Auge des Beobachters; wodurch dann der Hauptfehler der Drehfeuer, die ***Kürze der Dauer*** des Lichtblicks, vermieden wird. Die obern Hülfslinsen werden ganz auf dieselbe Weise berechnet, wie es bei den Hauptlinsen angegeben ist. ***Fresnel*** nahm die Focal-Distanz gleich der für Linsen dritter Classe an und beschränkte ihre Maafse, um ein zu grofses Gewicht zu vermeiden.

Die nach unten entweichenden Strahlen werden von mehreren über einander liegenden schmalen Spiegeln, welche die Lampe kreisförmig umgeben, reflectirt (Taf. III. Fig. 6). Jede spiegelnde Fläche besteht aus demjenigen Theile eines Paraboloïds, dessen Focus der Mittelpunct der Flamme ist. Da die Herstellung der Spiegelflächen nach der Parabel schwierig sein würde, so schleift man sie nach dem Krümmungshalbmesser jedes einzelnen Stücks, welchen man durch die folgende für die Praxis bequeme Formel findet. Es sei (Taf. I. Fig. 9) F der Brennpunct einer Parabel: es soll für das Stück Pp der Krümmungshalbmesser gefunden werden, dessen Länge durch die sich schneidenden Normalen OP und Op gegeben ist. Die Dreiecke Ppd und Nen sind ähnlich, folglich ist.

$$Pd : Pp = PH : PN \text{ und}$$
$$Ne : Nn = PH : PN.$$

Da annähernd $Pd = Nn$ ist und die Dreiecke OPp und NOe ähnlich sind, so ist

$$Ne : Pp = PH^2 : PN^2,$$
$$Ne : Pp = NO : PO,$$

mithin

$$PH^2 : PN^2 = NO : PO.$$

Es ist aber nach dem pythagorischen Lehrsatze $PN^2 - PH^2 = HN^2$; ferner ist

$$PO - NO = NP, \text{ also } HN^2 : PN^2 = NP : PO \text{ und}$$

$$PO = \frac{PN^3}{HN^2}.$$

Setzt man $FP = HC = FN = \varrho$, $HN = \varrho - z$, so ist

$$FP^2 - FH^2 = PH^2 = \varrho^2 - z^2,$$

$$PN^2 = PH^2 + HN^2 = (\varrho^2 - z^2) + (\varrho^2 - 2\varrho z + z^2) = 2\varrho^2 - 2\varrho z,$$

$$PN = \sqrt{(2\varrho(\varrho - z))},$$

mithin findet sich $PO = \frac{\sqrt{[(2\varrho(\varrho-z))^3]}}{(\varrho-z)^2} = \sqrt{\left(\frac{[2\varrho(\varrho-z)]^3}{(\varrho-z)^4}\right)}$ oder

$$PO = 2\sqrt{\left(\frac{2\varrho^3}{\varrho - z}\right)}.$$

Die Spiegel bestehen aus Glastafeln, welche auf der Rückseite versilbert und in flache messingene Rahmen eingeschlossen sind.

Der Vortheil fester Feuer mit dioptrischen Apparaten war zu ersichtlich, als dafs *Fresnel* nicht bald hätte nähere Untersuchungen darüber anstellen sollen. Nimmt man den verticalen mittleren Durchschnitt einer aus Zonen zusammengesetzten Linse an, so wird jeder Punct desselben die auf ihn fallenden Lichtstrahlen in horizontaler Richtung hinauswerfen. Stellt man sich nun diesen Querschnitt um die verticale, durch den Focus gelegte Axe gedreht vor, so entsteht ein cylindrischer Körper, welcher sämmtliche ihn treffende Lichtstrahlen parallel mit dem Horizonte beugt. Die Schwierigkeit der Herstellung eines solchen Körpers erschien *Fresnel* aber so grofs, dafs er auf diese vollkommne Form verzichtete und ein hohles Prisma von vieleckigem Querschnitt an seine Stelle setzte. Er gab demselben so viele Seiten, dafs durch die Divergenz der Strahlen die Winkel, welche zwei Seiten bilden, fast gleich stark beleuchtet werden.

Alan Stevenson, beauftragt, das feste katoptrische Licht auf der Insel *May* in ein dioptrisches zu verwandeln, schlug einen hohlen, vollkommen cylindrischen Refractor vor. Ein Versuch, im Jahre 1836 in *Newcastle* angestellt, gelang. *Stevenson* beabsichtigte, die verticalen Fugen der Linsentheile so zusammenzusetzen, wie es oben bei den ringförmigen Linsen erwähnt ist. Da aber eine solche Zusammensetzung erst auf dem Leuchtthurme selbst hätte verbunden werden können, was die Gefahr des Zerbrechens sehr vermehrt hätte, so wurde der ganze Cylinder in zehn verticale Streifen getheilt und jeder Streifen mit einem metallnen Rahmen eingefafst. So liefsen sich auch die etwa vorkommenden Fehler leichter unschädlich machen. Später brachte *Stevenson* noch eine wesentliche Verbesserung an, indem er die Fugen nicht vertical, sondern schräg legte: ähnlich wie es hier oben bei der neuen Construction

der Laterne angegeben ist; auf welche Weise dann für jeden Augenblick nur ein Punct, und nicht, wie bei den verticalen Fugen, ein ganzer Streifen verdunkelt wird. Die Schwierigkeit, Mittellinsen aus einem Stücke herzustellen, veranlafste *Stevenson*, dieselben nach einer durch den Focus gelegten horizontalen Ebene zu theilen. Der Verlust an Licht durch die feine Fuge ist kaum bemerkbar. *Francois Soleil* in Paris führte auf *Stevenson's* Anregung den ersten Apparat dieser Art aus.

Wegen des bedeutenden Verlusts an Licht, der an der Oberfläche, auch der vollkommensten Spiegel entsteht, hielt es *Stevenson* für gut, an die Stelle der obern und untern Spiegel dioptrische Apparate zu setzen; so wie sie schon in kleinerem Maafsstabe von *Fresnel* bei den später näher zu beschreibenden Hafenfeuern angeordnet waren. Versuche mit $1\frac{1}{2}$ Linien dickem Crownglase zeigten, dafs der Lichtverlust etwa *Zweisiebentel* betrug, während der Verlust bei Spiegeln der Leuchtfeuer erster Classe, den Verlust wegen der nothwendigen Zwischenräume eingerechnet, *Zweidrittel* des einfallenden Lichts ausmacht. Es war also zu erwarten, dafs doppelt so viel Licht von den Refractoren als von den Reflectoren hinausgeworfen werden würde: eine Vermehrung der Leuchtkraft, welche um so wichtiger ist, da sie keiner Vermehrung des Brennstoffs bedarf und vorzugsweise bei den festen Feuern anwendbar ist, die derselben am meisten bedürfen, da sie ihrer Natur nach den Drehfeuern an Helligkeit nachstehen.

Soleil stellte zuerst einen solchen Apparat für ein Leuchtfeuer dritter Classe her, und unternahm es auch, den optischen Apparat für den *Skerryvore* Leuchtthurm zu liefern; welcher dann auch am Ende des Jahres 1843 vollendet wurde. Die Leuchtkraft der 13 eine Kuppel bildenden obern Prismengürtel verhält sich zu der Leuchtkraft der frühern 7 Spiegelreihen wie 140 zu 87. (Taf. III. Fig. 6) zeigt links den dioptrischen, rechts den Spiegel-Apparat. Der dioptrische Apparat erster Classe besteht also aus den Hauptlinsen, welche 6 F. Durchmesser und 30 Linien Höhe haben. Unter denselben sind 6 ringförmige, im Querschnitt annähernd dreiseitige Prismen, und über den Hauptlinsen ist eine Kuppel, aus 13 polirten Glasringen zusammengesetzt.

Um diese Glasringe zu bestimmen, nehme man (Taf. I. Fig. 10) F als Focus an; ABC und $A_2B_2C_2$ seien die Querschnitte zweier über einander liegender Ringe, von welchen die Spitze C, die Länge der Seite BC oder CA, und das Brechungs-Verhältnifs des Glases bekannt sind. Um die Bedingung

des horizontalen Hinauswerfens der auf die Fläche BC fallenden Strahlen zu erfüllen, mufs der äufserste Strahl FB eine Refraction und eine Reflexion in B erleiden, nach C zurückgeworfen und dort so gebeugt werden, dafs er in horizontaler Richtung den Glaskörper verläfst. Der Strahl FC mufs in C so gebeugt werden, dafs er nach A gelangt, dort reflectirt und so gebeugt wird, dafs er ebenfalls in horizontaler Richtung fortgeht. Jeder zwischen diesen beiden auf BC fallende Strahl mufs, gebeugt, die Fläche AB treffen, von dieser reflectirt auf AC geworfen und dann durch Refraction in die horizontale Richtung gebracht werden. Da die Winkel BCH und FCA lediglich von der Refraction in C abhangen, so müssen beide gleich sein, und da der Winkel BCA beiden gemeinschaftlich ist, so ist $ACH = BCF$. Es soll nun zuerst der Winkel gesucht werden, welchen die Seite CB mit dem Strahl CF einschliefsen mufs, damit der Lichtstrahl von C nach BA geworfen werde.

Macht man $HCF = 2SCF$, so ist $SCF = \alpha$. Steht OC normal auf CB, so ist $OCF = \beta$ der Einfallswinkel für FC; $DCO = \gamma$ ist der Refractionswinkel; $LCF = \delta = (HCF - 90\text{ Gr.}) = (2\alpha - 90\text{ Gr.})$; $SCD = (\alpha + \gamma - \beta)$; m das Brechungs-Verhältnifs für Crownglas. Es findet sich unmittelbar aus dem Verhältnifs des Einfallswinkel zum Refractionswinkel:

$$\text{(I.)} \qquad \sin\beta = m \,.\, \sin\gamma.$$

Der Construction nach ist Winkel $SCD = \text{W.}\, ACW = BCW$, und da W. $SCD = (\alpha - \beta + \gamma) = (\alpha + \gamma - \beta)$, so ist

$$\text{W.}\, ACB = 2ACW = 2SCD = (2\alpha + 2\gamma - 2\beta).$$

Verlängert man die Normale OC, so ist $ACg = \gamma$ und

$$\gamma = ACB - gCB = (2\alpha + 2\gamma - 2\beta) - gCB = (2\alpha + 2\gamma - 2\beta) - 90\text{ Gr.},$$

$$\gamma = (2\alpha + 2\gamma - 2\beta) - 90\text{ Gr.},$$

$$-\gamma = -2\beta + (2\alpha - 90\text{ Gr.}), \quad \gamma = 2\beta - (2\alpha - 90\text{ Gr.},)$$

$$\text{(II.)} \qquad \gamma = 2\beta - \delta.$$

Aus den Gleichungen (I. und II.) ist γ zu eliminiren. Es ist

$$\text{(III.)} \quad \begin{cases} \sin\beta = m\sin(2\beta - \delta) = m[\sin 2\beta \,.\, \cos\delta - \cos 2\beta \,.\, \sin\delta], \\ \sin\beta = m\cos\delta \,.\, \sin 2\beta - m\sin\delta \,.\, \cos 2\beta, \\ \sin\beta = m\cos\delta \,.\, 2\sin\beta \,.\, \cos\beta - m\sin\delta(1 - 2\sin^2\beta), \\ \sin\beta = 2m\cos\delta \,.\, \sin\beta \,.\, \cos\beta - m\sin\delta + 2m\sin\delta\sin^2\beta, \\ m\sin\delta + \sin\beta - 2m\sin\delta \,.\, \sin^2\beta = 2m\cos\delta \,.\, \sin\beta \,.\, \cos\beta. \end{cases}$$

Erhebt man die Ausdrücke zu beiden Seiten ins Quadrat, so ergiebt sich

$$m^2\sin^2\delta + 2m\sin\delta.\sin\beta - 4m^2\sin^2\delta.\sin^2\beta + \sin^2\beta - 4m\sin\delta.\sin^3\beta$$
$$+ 4m^2\sin^2\delta.\sin^4\beta = 4m^2\cos^2\delta.\sin^2\beta(1-\sin^2\beta)$$
$$= 4m^2\cos^2\delta.\sin^2\beta - 4m^2\cos^2\delta.\sin^4\beta.$$

Nach Aufhebung der gleichen Glieder mit entgegengesetzten Vorzeichen, so wie nach Reduction der Gleichung auf Null, erhält man:

$$m^2\sin^2\delta + 2m\sin\delta.\sin\beta + (1-4m^2)\sin^2\beta - 4m\sin\delta.\sin^3\beta + 4m^2\sin^4\beta = 0$$

und durch $4m^2$ dividirt und nach β geordnet:

$$\sin^4\beta - \frac{1}{m}\sin\delta.\sin^3\beta + \left(\frac{1}{4m^2} - 1\right)\sin^2\beta + \frac{1}{2m}\sin\delta.\sin\beta + \tfrac{1}{4}\sin^2\delta = 0.$$

Diese Gleichung vierten Grades ist nun durch Versuche aufzulösen; was um so leichter ist, da man den ***Sinus eines Winkels*** findet, also eine Zahl zwischen Null und Eins. Einfacher und sicherer ist aber folgendes Verfahren. Bezeichnet man den Fehler, welcher durch Substitution eines ungenauen Werthes von β in die Gleichung (III.) entsteht, durch ε, so ist

$$\sin\beta - m\sin(2\beta-\delta) = \varepsilon.$$

Differentiirt giebt Dies $d\varepsilon = \cos\beta.d\beta - 2m\cos(2\beta-\delta)d\beta$,

$$d\varepsilon = [\cos\beta - 2m\cos(2\beta-\delta)]\,d\beta \text{ und}$$

$$d\beta = \frac{d\varepsilon}{\cos\beta - 2m\cos(2\beta-\delta)}.$$

Wenn β in $\beta + d\beta$ übergeht, verwandelt sich ε in $\varepsilon + d\varepsilon$. Da aber $\varepsilon + d\varepsilon = 0$ sein mufs, so ist $d\varepsilon = -\varepsilon$ und es findet sich durch Substitution:

$$d\beta = \frac{-\varepsilon}{\cos\beta - 2m\cos(2\beta-\delta)} = \frac{-[\sin\beta - m\sin(2\beta-\delta)]}{\cos\beta - 2m\cos(2\beta-\delta)} \text{ oder}$$

$$d\beta = \frac{-\sin\beta + m\sin(2\beta-\delta)}{\cos\beta - 2m\cos(2\beta-\delta)}.$$

Durch Substitution der bekannten Werthe von m und δ und des angenommenen Werths von β findet sich die ***Correction*** von β. Dieses Verfahren wird so lange wiederholt, bis eine hinreichende Genauigkeit erreicht ist. ***Stevenson*** berechnete in der nachfolgenden Tafel die Winkel bis auf Secunden, hält aber eine solche Genauigkeit für überflüssig. Aus dem Winkel ***BCF***, welchen der untere Lichtstrahl ***CF*** mit der Seite ***BC*** bildet, findet man dann leicht den Winkel $\boldsymbol{BCA} = 90\text{ Gr.} + \gamma = 90\text{ Gr.} + 2\beta - \delta$.

Es ist nun noch übrig, die Form der Seite ***BA*** zu bestimmen; was sehr wichtig ist, da sich bei der Reflexion jeder Fehler verdoppelt. Es wird

verlangt, dafs jeder Strahl EW, nach der Reflexion auf der Fläche AB, parallel mit dem ersten Strahl BC auf die Fläche AC geworfen und beim Austritt horizontal gebeugt werde. Verfolgt man den Weg eines Strahls von der horizontalen Richtung an, so sieht man, dafs, wenn BA eine gerade Fläche ist, jeder Strahl unter demselben Winkel reflectirt wird; er wird also auch die Fläche BC unter demselben Winkel treffen, dort gleiche Beugung erfahren und daher in paralleler Richtung das Glas verlassen. Um eine Convergenz der Strahlen zu erlangen, mufs man die Fläche AB krümmen. Nimmt man die Länge AC an, so ist die Tangente der gesuchten krummen Linie an A leicht zu finden; denn zieht man durch A eine Parallele AU zu BC, der Richtung, welche die reflectirten Strahlen haben müssen, um beim Ausgange aus der Fläche AC horizontal gebeugt zu werden, so mufs, da AC der äufserste Strahl ist, welcher die Fläche AB trifft, der Winkel CAU der Einfalls-Reflexionswinkel, mithin die Halbirende Ax die Normale auf die zu suchende krumme Linie AB und AM (Taf. I. Fig. 10) die Tangente sein. Um die zweite Tangente zu finden, kann man Voraussetzungen für die Länge der Seite BC aufstellen. Man ziehe dann den Einfallsstrahl FB, welcher, gebeugt, mit der Normale BK den Winkel γ' bildet und dann von der Fläche AB reflectirt wird, mit welcher er den Winkel $YBZ = MBC$ einschliefst. MBZ ist die Tangente an der reflectirenden Fläche, $KBF = x'$ der Einfallswinkel des Strahls BF, und $FCE = x$ ist der Einfallswinkel des Strahls FC: mithin ist $BFC = x - x'$, woraus, x als bekannt vorausgesetzt, x' für bestimmte Längen von BC gefunden wird. Mit Hülfe dieses Werthes findet man dann leicht γ, da

$$\sin \gamma' = \frac{\sin x'}{m}$$

ist. Ist die Lage von B richtig angenommen, so mufs der in B reflectirte Strahl der Richtung BC folgen, also $MBC = YBZ = \mu$ sein. Es ist der Winkel $NBZ = \mu + \gamma' + NBK$. Da aber $NBK = \mu$ ist und BK normal auf CB steht, so ist $\gamma' + 2\mu = 90$ Gr. oder

$$\gamma' + 2\mu - 90 \text{ Gr.} = 0:$$

welche Gleichung erfüllt werden mufs, wenn der Punct B die richtige Lage haben soll. Der Werth von γ' wurde schon gefunden, und μ war $= CBA + ABM = CBA = BAM = CBA + (MAC - BAC) = CBA + \frac{1}{2}(180 \text{ Gr.} - v) - BAC$.

Es sind nun, nachdem der Punct B gefunden ist, noch die Radien zu suchen und die Mittelpuncte derselben zu bestimmen. Die Werthe von γ und γ' sind bekannt, und dadurch auch die Neigung $\gamma - \gamma'$ der gebeugten Strahlen, welche

von den Ecken reflectirt werden. Es ist ferner

$$Ab = \frac{AC \cdot \sin ACb}{\sin AbC},$$

$$AXb = \tfrac{1}{2}(\gamma - \gamma') = \varphi,$$

$$AX = bX = \varrho = \frac{Ab \sin \tfrac{1}{2}(180^\circ - \varphi)}{\sin \varphi} = \tfrac{1}{2} Ab \,.\, \operatorname{cosec} \tfrac{1}{2}\varphi.$$

Die Coordinaten des Mittelpuncts sind leicht zu finden, indem

$$OX = \varrho \sin OAX \text{ und}$$
$$OA = \varrho \cos OAX$$

ist. Die Winkel $HAO = 90$ Gr., HAC und CAU sind bekannt, mithin ist

$$OAX = 90 \text{ Gr.} - (HAU + UAX) = 90 \text{ Gr.} - (HAU + \tfrac{1}{2} CAU).$$

Die Coordinaten der Puncte A und B finden sich aus der Länge der Seiten AC und CB und aus den Winkeln ACH und BCK (Taf. I. Fig. 10). Es ist

$$AH = AC \,.\, \sin ACH, \quad HC = AC \,.\, \cos ACH,$$
$$BK = BC \,.\, \sin BCK, \quad CK = BC \,.\, \cos BCK.$$

Um das Schleifen der Spiegel zu erleichtern, giebt man den Seiten AC und CB ebenfalls eine schwach gekrümmte Form, und zwar an der einen Seite eine convexe, an der andern eine concave, damit die durch die erstere entstandene Convergenz durch die zweite wieder aufgehoben werde; die Radien werden für Apparate erster Classe zu 4 Metern angenommen. Die Coordinaten der Mittelpuncte lassen sich ohne Schwierigkeit finden, da alle dazu erforderlichen Stücke bekannt sind. Ist der Querschnitt des untern Ringes gefunden, so hat man für den zweiten zuerst den Punct C (Taf. I. Fig. 10) festzulegen, welchen der Durchschnitt der Horizontalen GAC_2 mit der durch B nach dem Focus gelegten Linie giebt; durch diese Anordnung wird jeder Verlust von Licht vermieden. Die Glasringe, welche als Refractoren und Reflectoren dienen, entstehen durch Umdrehung dieser krummlinigen Dreiecke um eine durch den Focus gehende verticale Axe.

Folgende Tafeln enthalten die Bestimmungen für die ringförmigen Prismen eines *Fresnel*'schen Linsen-Apparats erster Classe.

	Nro. der Zonen.	φ Neigung des Strahls *FC* gegen die durch *C* gezogene Verticale Fig. 10 Taf. I. Gr. Min. Sec.	β Einfallswinkel für *FC* (Taf. I. Fig. 10) Gr. Min. Sec.	Winkel *BCA* (Fig. 10) Gr. Min. Sec.	Winkel *ABC* (Fig. 10) Gr. Min. Sec.	Winkel *BAC* (Fig. 10) Gr. Min. Sec.	*BA*, Sehne des Bogens *BA* in Millimetern. Taf. III. Fig. 7	*BC* Taf. III. Fig. 7	*AC* Taf. III. Fig. 7
Obere Zonen.	1	60 45 38	44 06 09	117 26 40	31 48 10	30 45 10	160,311	92,379	95,209
	2	56 55 38	41 28 10	116 00 42	32 32 01	31 27 17	155,430	90,249	93,011
	3	53 05 38	38 48 29	114 31 20	33 17 30	32 11 10	151,551	88,729	91,434
	4	49 15 38	36 07 09	112 58 40	34 04 36	32 56 44	148,580	87,768	90,424
	5	45 25 38	33 24 19	111 23 00	34 53 07	33 43 53	146,444	87,332	89,947
	6	41 35 38	30 40 05	109 44 32	35 42 57	34 32 31	145,087	87,403	89,986
	7	37 45 38	27 54 31	108 03 30	36 34 01	35 22 29	144,481	87,977	90,536
	8	33 55 38	25 07 52	106 20 06	37 26 11	36 13 43	144,609	89,060	91,604
	9	30 05 38	22 20 07	104 34 36	38 19 23	37 06 01	145,476	90,671	93,209
	10	26 15 38	19 31 25	102 47 12	39 13 27	37 59 21	147,089	92,843	95,384
	11	22 25 38	16 41 54	100 58 10	40 07 14	38 54 36	145,361	93,000	95,413
	12	18 42 02	13 56 26	99 10 50	40 59 53	39 49 17	143,362	93,000	95,271
	13	15 06 03	11 16 04	97 26 07	41 51 03	40 42 49	141,379	93,000	95,127
Untere Zonen.	1	59 47 16	43 27 36	117 05 56	31 58 37	30 55 27	159,369	92,000	94,806
	2	55 48 55	40 42 01	115 35 07	32 44 43	31 40 09	158,051	92,000	94,783
	3	51 48 33	37 54 32	114 00 31	33 28 16	32 27 13	156,592	92,000	94,719
	4	47 51 11	35 07 32	112 23 53	34 20 23	33 15 44	155,083	92,000	94,619
	5	43 59 40	32 23 06	110 46 32	35 08 23	34 05 05	153,489	92,000	94,488
	6	40 16 34	29 43 19	109 10 04	35 55 37	34 54 18	151,863	92,000	94,334

	Nro. der Zonen.	Coordinaten der Ecken des erzeugenden Dreiecks in Millimetern (Taf. III. Fig. 8).						Winkel, welche die Seiten des erzeugenden Dreiecks mit der verticalen Axe des Systems bilden.			Die reflectirende Fläche *AB* (Taf. III. Fig. 7).				
		Ay	*Ax*	*By*	*Bx*	*Cy*	*Cx*	Neigung von *AB* Gr. Min. Sec.	Neigung von *BC* Gr. Min. Sec.	Neigung von *AC* Gr. Min. Sec.	Radius $xA = xB$ in Millimetern.	*OX*	*OA*	Winkel, durch die beiden Radien gebildet Gr. Min. Sec.	Neigung des äussern Radius Gr. Min. Sec.
Obere Zonen.	1	593,369	986,260	551,481	831,497	525,000	920,000	74 51 19	73 20 31	44 06 09	8750,19	3194,76	8466,88	1 02 59	14 38 11
	2	663,063	957,410	617,423	898,832	593,369	895,816	72 55 27	74 32 32	41 28 10	8253,90	3306,80	7909,94	1 04 45	16 32 11
	3	734,313	926,908	684,958	783,619	663,063	869,605	70 59 39	75 42 51	38 48 29	7850,30	3411,75	7446,67	1 06 22	18 27 11
	4	807,357	894,222	754,267	755,451	734,313	840,920	69 03 53	76 51 31	36 07 09	7527,08	3514,22	7056,39	1 07 51	20 22 11
	5	882,445	858,858	825,547	723,921	807,357	809,337	67 08 12	77 58 41	33 24 19	7275,23	3617,56	6730,66	1 09 12	22 17 11
	6	959,847	820,325	899,011	688,608	882,445	774,426	65 12 36	79 04 27	30 40 05	7082,17	3723,81	6459,63	1 10 25	24 12 11
	7	1039,852	778,108	974,899	649,051	959,847	735,730	63 17 03	80 08 56	27 54 34	6944,09	3835,23	6234,93	1 11 31	26 07 11
	8	1122,784	731,645	1053,471	604,730	1039,852	692,742	61 21 35	81 12 14	25 07 52	6857,03	3954,67	6052,36	1 12 30	28 02 11
	9	1209,000	680,322	1135,025	555,059	1122,784	644,900	59 26 08	82 14 29	22 20 07	6817,87	4081,70	5902,53	1 13 20	29 57 11
	10	1298,900	623,433	1219,892	499,354	1209,000	591,556	57 30 46	83 15 47	19 31 25	6824,46	4226,67	5795,68	1 14 05	31 52 11
	11	1390,290	559,378	1308,183	439,428	1288,900	531,963	55 36 30	84 16 16	16 41 54	6880,52	4385,63	5718,52	1 12 37	33 47 11
	12	1482,755	490,169	1398,007	374,538	1390,290	467,217	53 45 43	85 14 24	13 56 26	6980,89	4558,83	5672,64	1 10 36	35 38 59
	13	1576,048	415,991	1488,972	304,611	1482,755	397,403	51 58 53	86 10 02	11 16 04	7123,05	4747,24	5654,92	1 08 15	37 26 59
Untere Zonen.	1	593,815	985,212	550,915	831,725	525,000	920,000	74 23 03	73 38 20	43 27 36	8674,74	3243,48	8375,64	1 03 09	15 05 22
	2	682,731	981,810	634,862	831,183	610,872	920,000	72 22 10	74 53 06	40 42 01	8419,60	3456,44	8047,72	1 04 31	17 05 32
	3	779,464	978,917	726,831	830,694	704,730	920,000	70 21 45	76 05 59	37 54 32	8278,82	3685,41	7823,68	1 05 01	19 05 13
	4	885 046	974,441	827,926	830,261	807,657	920,000	68 23 16	77 16 21	35 07 32	8252,95	3941,89	7701,00	1 04 36	21 04 24
	5	1000,663	970,608	939,385	829,882	920,871	920,000	66 28 11	78 23 26	32 23 06	8335,86	4228,06	7673,05	1 03 18	23 00 10
	6	1127,665	966,771	1062,591	829,557	1045,740	920,000	64 37 37	79 26 45	29 43 19	8522,64	4549,97	7732,80	1 01 15	24 51 43

	AC äussere beugende Fläche (concav) (Taf. III. Fig. 7)					*BC* innere beugende Fläche (convex) (Taf. III. Fig. 7)					Entfernung des Puncts *C* von dem Focus *F*, in Millimetern	Nro. der Zonen
	Radius in Millimetern	Horizontale Entfernung des Mittelpuncts von der Axe des Systems in Millimetern	Tiefe des Mittelpuncts unter der durch *A* gelegten Horizontalen in Millimetern	Neigung der Radien gegen einander	Neigung des äusseren Radius	Radius in Millimetern	Horizontale Entfernung des Mittelpuncts von der Axe des Systems in Millimetern	Höhe des Mittelpuncts über der durch *A* gelegten Horizontalen in Millimetern	Neigung der Radien gegen einander	Neigung des äusseren Radius		
				Gr. Min. Sec.	Gr. Min. Sec.				Gr. Min. Sec.	Gr. Min. Sec.	(Taf. I. Fig. 10)	
Obere Zonen.	4000,00	3825,31	2817,77	1 21 50	45 12 56	4000,00	2021,19	3777,07	1 19 24	15 58 47	1054,34	1
	...	3923,65	2683,55	1 19 56	47 51 52	...	1918,37	3797,40	1 17 34	14 48 41	1069,02	2
	...	4015,06	2542,31	1 18 34	50 32 14	...	1813,60	3815,77	1 16 16	13 39 01	1087,52	3
	...	4098,54	2394,23	1 17 42	53 14 00	...	1707,55	3831,95	1 15 26	12 30 46	1109,85	4
	...	4173,08	2239,64	1 17 18	55 57 02	...	1599,72	3846,04	1 15 04	11 23 47	1136,14	5
	...	4237,70	2078,82	1 17 20	58 41 15	...	1489,62	3858,14	1 15 08	10 17 59	1166,57	6
	...	4291,45	1912,18	1 17 48	61 26 32	...	1376,71	3868,30	1 15 36	9 13 16	1201,46	7
	...	4333,30	1740,12	1 18 44	64 12 46	...	1260,38	3876,59	1 16 32	8 09 30	1241,16	8
	...	4362,26	1563,10	1 20 06	66 59 50	...	1139,94	3883,03	1 17 56	7 06 33	1286,15	9
	...	4377,24	1381,63	1 21 58	69 47 36	...	1014,67	3887,66	1 19 48	6 04 19	1336,99	10
	...	4376,72	1194,94	1 22 00	72 37 06	...	884,95	3893,00	1 19 56	5 03 46	1394,36	11
	...	4360,70	1009,41	1 21 12	75 22 58	...	752,78	3897,32	1 19 56	4 05 38	1457,22	12
	...	4329,31	828,19	1 21 46	78 03 02	...	618,37	3901,10	1 19 56	3 10 00	1525,43	13
Untere Zonen.	4000,00	3855,83	2785,60	1 21 28	45 51 40	4000,00	2002,52	3781,91	1 19 04	15 42 08	——	1
	...	3983,21	2644,16	1 21 28	48 37 15	...	1918,55	3801,51	1 19 04	14 27 22	——	2
	...	4104,84	2494,82	1 21 24	51 24 46	...	1836,22	3818,93	1 19 04	13 14 29	——	3
	...	4218,56	2340,02	1 21 20	54 11 48	...	1756,33	3834,20	1 19 04	12 04 07	——	4
	...	4322,95	2182,17	1 21 12	56 56 18	...	1679,85	3847,38	1 19 04	10 57 02	——	5
	...	4416,91	2023,99	1 21 04	56 36 09	...	1607,39	3858,56	1 19 04	9 53 43	——	6

Die oben erwähnten Hafenfeuer von *Fresnel* werden durch eine kleine, vollkommen cylindrische Linse, aus drei Zonen bestehend, und aus obern und untern dioptrischen Prismenringen gebildet (Taf. III. Fig. 9). Die fünf mittleren Ringe haben einen Durchmesser von 3 Decimetern (0,95 F.). Die nach oben entweichenden Strahlen werden durch fünf, die nach unten entweichenden durch drei Prismenringe aufgefangen und gebeugt. Es zeichnet sich dieser Apparat durch eine Anordnung aus, welche von *Fresnel* auch für gröfsere feste Feuer benutzt wurde. Es sind aufsen verticale Refractoren r', r' angebracht, welche, um die Haupt-Axe gedreht, die horizontal nach allen Seiten hinausgeworfenen Lichtstrahlen zu parallelen Strahlenbündeln beugen. Es ist klar, dafs durch die Umdrehung dieser Refractoren einem entfernten Beobachter helle Blicke sich zeigen, welchen jedoch eine kurze Verdunklung vorhergeht und nachfolgt, da die Verstärkung der hinausgeworfenen Strahlen nur auf Kosten der angränzenden geschehen kann. Dieses Letztere hat die Commission für Leuchtfeuer in Frankreich veranlafst, die Bezeichnung *feu fixe, varié par des éclats,* in *feu fixe à courtes éclipses* zu verändern. Nach mehreren Erfahrungen unterscheiden sich die Feuer mit kurzen Verdunkelungen von den gewöhnlichen Drehfeuern nicht hinreichend, um sie mit Sicherheit anwenden zu können. Soll das Hafenfeuer nur einen Theil des Horizonts beleuchten, so kann man sich, da die Ringe eine Unterbrechung bekommen können, der gewöhnlichen *Argand*schen Flaschenlampen bedienen: soll dagegen die Beleuchtung ringsum geschehen, so ist eine hydrostatische Lampe nach *Thilorier,* wie sie oben beschrieben wurde, zu empfehlen. In den beschränkten Gewässern von Frankreich und Schottland hat man Hafenfeuer in gröfseren Maafsen ausgeführt. Der Durchmesser der Apparate ist $\frac{1}{2}$ Meter (1,6 F.), die übrigen Verhältnisse sind den gewöhnlichen Hafenfeuern proportional angenommen.

Da ein festes Feuer nie die Stärke eines Drehfeuers unter sonst gleichen Verhältnissen haben kann, weil es die Strahlen nach allen Seiten gleichmäfsig ausströmt, während das letztere sämmtliches Licht auf einige Strahlenbündel concentrirt, so machte Capitain *Hall* den Vorschlag, durch schnelle Drehung der Linsen einen fortwährenden Eindruck auf das Auge des Beobachters hervorzubringen. Da nach *Wheatstone's* Untersuchungen Einmilliontel einer Secunde hinreichend ist, um einen Eindruck auf die Retina hervorzubringen, und nach *Plateau* der Eindruck Einhundertel Secunde lang in gleicher Stärke bleibt, so schien der Vorschlag sehr angemessen zu sein. Versuche zeigten, dafs der

Lichtblick langsam rotirender Linsen eine viel gröfsere Ausdehnung hat, als das Licht schnell sich bewegender Linsen: und zwar nahm diese Gröfse mit der Zunahme der Geschwindigkeit so sehr ab, dafs man bei 8 bis 10 Lichtblicken in der Secunde das Licht kaum entdecken konnte, während das zur Vergleichung dienende feste Feuer vollkommen sichtbar war. Durch ein Fernrohr liefs sich der Unterschied sehr gut beobachten: das feste Feuer des cylindrischen Refractors gab ein ziemlich grofses Licht von mittelmäfsiger Helle, während die sich sehr schnell bewegenden Linsen nur einen sehr kleinen Punct von grofsem Glanze zeigten. Eine Fortdauer des Eindrucks wurde erst durch 8 bis 10 Blicke in der Secunde erreicht, und doch war das Licht nicht so ruhig und unverändert, als das eines cylindrischen Refractors. Bei 5 Blicken in der Secunde liefsen sich noch sehr wohl die Verdunkelungen unterscheiden. Diese Versuche zeigen also, dafs, auch abgesehen von den Schwierigkeiten einer so schnellen Bewegung der Linsen, die Anordnung wohl kaum anwendbar sein dürfte.

Die Eintheilung der dioptrischen Feuer in vier Classen und die Unterscheidung derselben ist von Frankreich ausgegangen und findet sich in den *„Annales maritimes et coloniales 1826. Nro. 9 und 10"*, damals nur als Vorschlag, jetzt fast unverändert überall angenommen.

Erstlich. Leuchtthurme erster Classe haben 92 Centimeter (2 F. 9 Z.) innern Radius oder Focal-Distanz und werden durch Lampen mit 4 concentrischen Dochten erleuchtet. Es sind folgende Feuer zu unterscheiden.

Drehfeuer mit 8 Linsen von gleicher Gröfse, welche ein verticales, regelmäfsiges hohles Prisma bilden; im Mittelpuncte desselben ist die Lampe aufgestellt. In 8 Minuten machen die Linsen eine Umdrehung, so dafs jeder Punct des Horizonts von Minute zu Minute einen Lichtblick empfängt. Auf 4½ Meilen mittlere Entfernung beträgt die Dauer eines Lichtblicks 20 Secunden, die Verdunkelung hält 40 Secunden an; je weiter entfernt, desto länger werden die Verdunkelungen, und umgekehrt. In 8 bis 9 Meilen Entfernung sieht man den Lichtblick nur 4 bis 5 Secunden. Über den Hauptlinsen sind, wie schon früher gesagt, 8 Hülfslinsen angebracht, deren etwas abweichende Axen den Lichtblicken eine gröfsere Dauer geben.

Die Drehfeuer mit 16 Halblinsen haben ebenfalls eine Umdrehungszeit von 8 Minuten, so dafs jede halbe Minute ein heller Blick erfolgt, welcher jedoch nicht dieselbe Dauer hat, wie bei den Drehfeuern mit 8 Linsen. Auf 4½ Meilen Entfernung kann man die Dauer eines Lichtblicks zu 15 Secunden

rechnen. Die Linsen haben dieselbe Höhe, wie bei den vorigen Drehfeuern; die Breite ist aber auf die Hälfte reducirt. Die Hülfs-Apparate sind entweder katoptrisch, oder katoptrisch und dioptrisch zugleich. Die Sichtbarkeit unter gewöhnlichen Verhältnissen ist $6\frac{3}{4}$ Meilen.

Das feste Feuer wird durch eine Zusammenstellung cylindrischer Linsen und ringförmiger Prismen oder parabolischer Spiegelflächen gebildet, welche die Strahlen parallel zum Horizont beugen und nach allen Richtungen gleichmäfsig hinauswerfen. Diese Feuer haben die geringste Lichtstärke; sie sind nur 5 bis 6 Meilen weit sichtbar.

Zweitens. Die Leuchtthürme zweiter Classe haben einen innern Radius oder eine Focal-Distanz von 70 Centimetern (2 F. 2 Z.) und werden durch Lampen mit 3 concentrischen Dochten erleuchtet. Man hat 16 oder 12 Halb-Linsen angewendet, welche jede halbe Minute einen Lichtblick geben; oder auch die schon gedachten Feuer mit kurzen Verdunkelungen. Die Sichtbarkeit dieser Feuer ist $4\frac{1}{2}$ bis 5 Meilen.

Drittens. Die Leuchtthürme dritter Classe, durch Lampen mit zwei concentrischen Dochten erleuchtet, haben einen innern Radius oder eine Focal-Distanz von 25 Centimetern (9 Z.), oder 50 Centimetern (1,6 F.). Das letztere Maafs ist passend, wenn man es für nöthig hält, die Sichtbarkeit eines Leuchtthurms dritter Classe zu verstärken, ohne dafs schon ein Leuchtthurm zweiter Classe nothwendig wäre. Da die Leuchtthürme dritter Classe bestimmt sind, den Fahrzeugen nahe am Ufer oder in engen Passagen ihre Richtung anzuzeigen, so müssen sie fortwährend sichtbar sein, oder die Verdunkelungen dürfen doch nur sehr kurz sein. Man hat daher hier vorzugsweise feste Feuer empfohlen, und nur dann feste Feuer mit kurzen Verdunkelungen zugelassen, wenn Verwechselungen möglich sind. Die festen Feuer dieser Classe sind bis auf $3\frac{3}{4}$ Meilen Entfernung sichtbar. Nach neueren Schriften scheint es, als ob für Apparate von $\frac{1}{2}$ Meter Focal-Distanz feste Feuer und diese mit kurzen Verdunkelungen von 4 zu 4 Minuten, und für Apparate von $\frac{1}{4}$ Meter Focal-Distanz feste Feuer mit kurzen Verdunkelungen von 3 zu 3 Minuten gebräuchlich geworden sind.

Viertens. Die Feuer vierter Classe, oder Hafenfeuer, haben 15 Centimeter (0,48 F.) innern Radius oder Focal-Distanz und werden durch eine Argandsche Flamme hergestellt. Da diese Feuer nur den Eingang eines Hafens und Dergleichen bezeichnen sollen, so reicht es vollkommen hin, wenn sie $1\frac{1}{2}$ bis 2 Meilen sichtbar sind. Es giebt feste Feuer ohne und mit kurzen

Verdunkelungen. Häufig läfst man solche Hafenfeuer auch als Fluthfeuer dienen, indem man sie anzündet, wenn die Fluth eine Hafenbarre u. s. w. bis zu einer gewissen Höhe überströmt. Die wie Hafenfeuer construirten gröfsern Apparate von $\frac{1}{4}$ Meter (0,85 F.) innern Radius, durch zwei concentrische Dochte erleuchtet, hat man neuerdings in Frankreich als vierte Classe aufgeführt.

Die fünfte Classe sollen Apparate von 185 Millimetern (0,59 F.) innern Radius und

Die sechste endlich die gewöhnlichen Hafenfeuer von 15 Centimetern innern Radius bilden.

Farbige dioptrische Feuer sind fast gar nicht üblich. *Stevenson* nennt nur den *Maplin* Leuchtthurm in der Themsemündung und das Leuchtfeuer auf dem *Cromarty Point* und sagt, dafs auf diesen Thürmen die gefärbten Medien mit gutem Erfolg angewendet seien; doch ist im Jahre 1849 das farbige Feuer des *Maplin* Leuchtthurms in ein gewöhnliches verwandelt worden; was nicht sehr für den Erfolg sprechen dürfte. In England hat man gefärbte Medien auch bei katoptrischen Apparaten zu vermeiden gesucht; nur wo wegen einer Anhäufung von Leuchtfeuern die Zahl der Unterscheidungen unzureichend schien, hat man an untergeordneten Stellen einzelne *rothe* Feuer angebracht; oder auch da, wo das Feuer so liegt, dafs es dem Schiffer erst dann sichtbar wird, wenn er ein gröfseres, leicht zu unterscheidendes Leuchtfeuer passirt hat. Vorsicht ist auch bei der Anordnung eines abwechselnd weifs und roth sich zeigenden Feuers nöthig, indem das erstere, aus gröfserer Entfernung sichtbar, dem Leuchtfeuer den Anschein eines mit der halben Geschwindigkeit sich drehenden gewöhnlichen Feuers giebt.

Nachdem die katoptrischen und dioptrischen Apparate näher betrachtet sind, ist es nöthig, sie mit einander zu *vergleichen*, um die Vortheile der einen oder der andern Art zu erfahren. Durch Versuche, welche die Commission der Schottischen Leuchtfeuer in den Jahren 1832 und 1833 anstellen liefs, fand man, dafs das Licht einer Linse erster Classe die Wirkung von 8 grofsen Reflectoren hat. Ein dreiseitiger katoptrischer Apparat, mit einem grofsen Reflector an jeder Seite, mufs also an jeder Seite 7 Reflectoren mehr bekommen, um einem Drehfeuer erster Classe an Lichtstärke gleich zu werden. Es verzehren 14 bis 16 Argandsche Lampen so viel Öl, als die mechanische Lampe erster Classe. Um jedoch das Verhältnifs genauer zu untersuchen, mufs man das Anlage-Capital und die übrigen Erhaltungskosten berechnen. Ein Drehfeuer mit 24 Reflectoren auf 3 verticalen Flächen kann zu 8653 Thlr.

und die jährlichen Erhaltungskosten, die Zinsen des Anlage-Capitals eingeschlossen, können zu 2789 Thlr. gerechnet werden. Ein Drehfeuer mit 8 Linsen und dem dioptrischen und katoptrischen Hülfs-Apparat kostet etwa 9227 Thlr.; die jährliche Erhaltung und die Zinsen des Anlage-Capitals betragen 2363 Thlr.: also kostet die Erhaltung des katoptrischen Apparats 426 Thlr. jährlich mehr, als die Erhaltung des dioptrischen. Hat der Rahmen des katoptrischen Apparats 4 verticale Flächen, wie z. B. für ein abwechselnd roth und weifses Feuer, so stellt sich das Verhältnifs für den dioptrischen Apparat noch günstiger.

Die durch das Verbrennen einer gleichen Menge Öl in Drehfeuern mit dioptrischen und katoptrischen Apparaten hervorgebrachte Wirkung ist leicht zu finden, da bei einem dioptrischen Drehfeuer mit 8 Linsen 32 Grad des Horizonts erleuchtet werden (der von jeder Linse mit der gröfsten Stärke beleuchtete Horizontwinkel ist 4 Gr.); die volle Kraft der Beleuchtung auf den Grad ist gleich 3200 Argandschen Flammen, mithin ist die Gesammtwirkung die von 102 400 Argandschen Flammen. Vergleicht man damit die Reflectoren, welche mit der gröfsten Lichtstärke von 400 Argandschen Flammen einen Winkel von 4 Gr. 25 Minuten beleuchten und nimmt 7 neben einander befindliche Spiegel an, so findet sich, dafs der dioptrische Apparat das Öl viel sparsamer verzehrt, als der katoptrische; und zwar in dem Verhältnifs wie 3.6 zu 1. Diesen Vortheilen der dioptrischen Drehfeuer stehen indessen einige Nachtheile entgegen. Wegen der Unsicherheit in der Behandlung der mechanischen Lampe ist nemlich leichter das Erlöschen derselben möglich; was bei dem dioptrischen Apparat sehr schädliche Folgen haben kann, während bei dem katoptrischen Apparate das Erlöschen einer Lampe nur die Verdunkelung einer Seitenfläche um etwa Einachtel nach sich zieht und daher beinahe unbemerkt bleibt.

Sehr vortheilhaft sind feste Feuer mit dioptrischen Apparaten. Man kann für den Grad die mittlere Wirkung eines vereinigten dioptrischen und katoptrischen Apparats auf 450 Argandsche Flammen rechnen, also eine Gesammtwirkung von $450 . 360 = 162\,000$ Argandschen Flammen. Vergleicht man damit die Wirkung von 62 Reflectoren (auf den Grad zu 174 Argandschen Flammen), gleich 62 640 Flammen, so findet sich, mit Berücksichtigung des verschiedenen Verbrauchs von Öl, dafs im dioptrischen Apparat die Verbrennung des Öls eine 4 mal so starke Wirkung hervorbringt, als im katoptrischen Apparat. Der Hauptvortheil der dioptrischen Apparate für feste Feuer besteht aber noch darin, dafs die Lichtstrahlen gleichmäfsig über den ganzen Horizont

verbreitet werden. Soll nur ein Theil des Horizonts beleuchtet werden, so ist es die gleichmäfsige Vertheilung der Lichtstrahlen, welche den dioptrischen Feuern den Vorzug giebt, obgleich schon bei der Beleuchtung des halben Horizonts die Kosten von Reflectoren geringer sind. Die Kosten eines festen Feuers, aus 26 Reflectoren zusammengesetzt, belaufen sich auf 6333 Thlr., und, die jährliche Erhaltung, mit den Zinsen des Anlage-Capitals, kostet 2837 Thlr., während die Anlage eines festen Feuers mit katadioptrischen Zonen 10074 Thlr. und die Erhaltung 1902 Thlr. kostet. Das dioptrische Feuer, welches die vierfache Wirkung des katoptrischen hat, kostet also an jährlicher Erhaltung 934 Thlr. weniger. Gestattet auch die gröfsere Einfachheit des Apparats einen leichteren Zugang zur Lampe, so dafs Störungen in dem Gange der Maschinerie leichter beseitigt werden können, so ist doch das Erlöschen der Lampe immer noch zu fürchten, während das Erlöschen einer Lampe der 26 Reflectoren nur den 26ten Theil des Horizonts seines Lichts beraubt.

Die Entscheidung, ob an einem bestimmten Orte ein dioptrisches, oder ein katoptrisches Leuchtfeuer anzulegen sei, kann nur nach reiflicher Überlegung aller Verhältnisse geschehen. Bedeutendere Leuchtfeuer, welche der über den Ocean zurückkehrende Seemann zuerst erblickt, werden immer durch dioptrische Apparate herzustellen sein, während zu Leitfeuern in engen Passagen, oder zu Feuern, welche zur Beleuchtung naheliegender Gegenstände einer bedeutenden verticalen Divergenz bedürfen, oft katoptrische Apparate besser sind. Eine Beleuchtung in der Nähe läfst sich durch dioptrische Apparate ebenfalls erreichen, wenn man den Linsen eine geringe Neigung giebt.

Die *Vertheilung* der Leuchtfeuer an den Küsten mufs nach einem gewissen Systeme geschehen, um allen Anforderungen der Schiffahrt zu genügen. Die Grundlage zu dem von *Rossel* aufgestellten Systeme für die Beleuchtung der französischen Küsten (S. „*Annales maritimes et coloniales 1826. „Sept. et Oct.*") gab ein, wahrscheinlich von *Kéarney* etwa im Jahre 1770 verfafstes Memoire ab, und es ist dieses System fast unverändert zur Ausführung gekommen. Nach demselben soll zwischen zwei Drehfeuern, von verschiedener Erscheinung, ein festes Feuer sein; so dafs nicht leicht Verwechslungen möglich sind. Es ist hier nicht der Ort, diesen Gegenstand weiter zu verfolgen. Es findet sich Dies ausführlich in den erwähnten „*Annales* S. 241." Hier mögen nur noch schliefslich die allgemeinen Erwägungen folgen, welche man bei der Auswahl der Lage eines Leuchtthurms und seines Lichts anzustellen hat.

Erstlich. Die hervorragendsten Puncte einer Küste, also diejenigen, welche zuerst von den über See kommenden Schiffen aus erblickt werden, müssen zuerst eine Beleuchtung, und zwar die stärkste erhalten, damit die Seeleute, noch weit vom Lande entfernt, schon wissen, in welcher Gegend sie sich befinden.

Zweitens. So weit es ohne Verwechslungen zu veranlassen möglich ist, sollten überall *Drehfeuer* angeordnet werden, da sie weiter sichtbar sind, als die *festen* Feuer.

Drittens. Feuer von gleicher Erscheinung sollten, wenn es irgend möglich ist, auf derselben Küstenstrecke nicht in weniger als 21 Meilen Entfernung vorkommen, sobald der Küstendistrict von überseeischen Fahrzeugen besucht wird.

Viertens. *Gefärbte* Feuer sind nur im Nothfall zuläfslich.

Fünftens. *Feste* Feuer, und Feuer von geringerer Stärke, sind für kleinere Gewässer passend, weil hier die Feuer nicht so weit sichtbar zu sein brauchen.

Sechstens. Anf kleineren Gewässern kann die Entfernung zwischen gleich sich zeigenden Feuern öfters geringer sein, als die der Signale am Ocean. Es sind Feuer von derselben Erscheinung, 10 Meilen und oft noch weniger von einander entfernt, mit Sicherheit zuläfslich.

Siebentens. Feuer, welche die Schiffe vor Klippen, Sandbänke u. s. w. warnen sollen, müssen, wenn es möglich ist, seewärts von diesen gefährlichen Orten liegen.

Achtens. Finanzielle Rücksichten sollten nie ein Hindernifs sein, den Leuchtthurm auf den *besten* Platz zu setzen. Man warte lieber mit dem Bau so lange, bis die Mittel die Auswahl des bessern Bauplatzes gestatten.

Neuntens. Die Höhe der Laterne über dem Meeresspiegel sollte, wo möglich, nicht über 200 F. sein. Meistens werden 150 F. hinreichend sein, um durch ein gehörig starkes Feuer die Beleuchtung bis auf die nöthige Entfernung zu geben. Zu hoch liegende Feuer sind öfters in Nebel gehüllt, während sie tiefer vielleicht recht gute Dienste leisten könnten; doch wirken hier verschiedene Umstände je nach der Örtlichkeit ein, welche alle sorgfältig zu untersuchen und zu erwägen sind.

Zehntens. Die Nähe eines Hafens kann auf die Wahl der Lage eines Leuchtfeuers keinen Einflufs haben. Das Interesse der Schiffahrt, so wie das Interesse des Hafens erfordert, dafs man nur die Form der Küste berück-

sichtigt; und wo es nöthig, mufs man den zum Hafen führenden Canal mit Hülfsfeuern besetzen.

Eilftens. Je weniger Feuer zur Beleuchtung einer Küste dienen, desto besser ist es; sowohl in Betracht der Kosten, als auch der Sicherheit der Schiffahrt. Jedes unnöthige Feuer kann für den Seemann ein Anlafs zu Irrthümern werden und vermindert die Mittel der Unterscheidung.

Zwölftens. Diejenige ***Unterscheidung*** der Feuer, welche auf Schätzung der nur so geringen Dauer der Erscheinung des Lichts und der Verdunkelung beruht, z. B. von 5 zu 10, oder von 10 bis 20 Secunden, ist bei weitem nicht so sicher, als diejenige, welche aus der sogenannten ***characteristischen*** Erscheinung der Leuchtfeuer hergenommen ist: d. h. aus einem ***bedeutenden*** Unterschiede zwischen der Dauer der Licht-Erscheinungen und der Verdunkelungen. So lassen sich z. B. Blicke von 5 Sec. Zwischenraum, von Drehfeuern, welche jede halbe Minute das hellste Licht zeigen, auf den ersten Blick unterscheiden.

Dreizehntens. Hafen- und andere Localfeuer, welche nur eine beschränkte Fläche zu erleuchten haben, sind gewöhnlich feste Feuer. Sie lassen sich zweckmäfsig durch ***Färbung*** von andern benachbarten Feuern unterscheiden.

Vierzehntens. Schwimmende Feuer, welche sehr kostbar und wenig stark sind, sollte man vermeiden.

(Die Fortsetzung folgt.)

6.

Von den Gesetzen der Bewegung der Luft (der Aërodynamik).

(Nach *d'Aubuisson de Voisins.*)

(Fortsetzung der Abhandlung Nr. 13. im vorigen Bande.)

20.

Ausströmung durch Gebläsedüsen. Für diese Düsen wird, da sie in der Regel lang genug sind und nur allmälig spitz zulaufen, der Werth 0,94 von m passend sein. Indessen wollen wir, um sicherer zu rechnen, für sie $m = 0{,}93$ setzen.

Ist alsdann der Durchmesser der kreisförmigen Ausmündung δ Fufs, so ist in (21.) $s = \frac{1}{4}\pi\delta^2 = 0{,}785\delta^2$. Dies giebt, $m = 0{,}93$ gesetzt, in (21.)

31. $$Q = \tfrac{1}{2}\pi\delta^2 m \sqrt{\left(\frac{ghτqb_0}{a(b+h)}\right)} = 920\,\delta^2 \sqrt{\left(\frac{hτ}{b+h}\right)} = 920\delta^2 \sqrt{\left(\frac{μτ}{1+μ}\right)}$$ C. F.

(b und h in Fufsen ausgedrückt).

Diese ausströmende Luftmasse hat die Dichtigkeit $\mu_0(1+\mu)$ derjenigen im Behälter, denn sie befindet sich unter der Druckhöhe $b+h$. Will man Q für eine andere Dichtigkeit $\mu_0(1+\mu_1)$, oder für die Druckhöhe b_1 ausdrücken, so mufs man Q in (31.) mit $\frac{\mu_0(1+\mu)}{\mu_0(1+\mu_1)} = \frac{1+\mu}{1+\mu_1} = \frac{b+h}{b_1}$ multipliciren. Da man gewöhnlich wissen will, wie viel *atmosphärische* Luft von der Druckhöhe $b_0 = 2{,}4215$ F. ausströme, so ist $\mu_0(1+\mu_1) = 1$, also $1+\mu_1 = \frac{1}{\mu_0}$ und folglich mit $\mu_0(1+\mu) = \frac{b+h}{b_0} = \frac{b+h}{2{,}4215}$ zu multipliciren, was

32. $$Q = \tfrac{1}{2}\pi\delta^2 m \sqrt{\left(\frac{ghτq(b+h)}{ab_0}\right)} = \frac{920}{b_0}\delta^2\sqrt{[τh(b+h)]} = 380\,\delta^2\sqrt{[τh(b+h)]}$$
$$= 920\,\delta^2\mu_0\sqrt{(τ,μ(1+μ))}$$ C. F. giebt (h, b und δ in Fufsen ausgedrückt).

21.

Wollte man das ***Gewicht P*** der ausströmenden Luftmasse in Pfunden berechnen, so müfste man in (32.) mit $\frac{a}{\tau} = \frac{0{,}085708}{\tau}$ multipliciren; denn dies ist nach (3. §. 495) das Gewicht eines Cubikfufses atmosphärischer Luft unter der Druckhöhe b_0 Fufs und mit t Grad Wärme. Dies giebt

33. $$P = \tfrac{1}{2}\pi m\delta^2\sqrt{\left(\frac{gqah(b+h)}{\tau b_0}\right)} = 326\,\delta^2\sqrt{\left(\frac{h(b+h)}{\tau}\right)}$$
$$= 79\,\delta^2\mu_0\sqrt{\left(\frac{\mu(1+\mu)}{\tau}\right)}\ \text{Pfund};$$

wo δ, h und b Zahlen von Fufsen sind und τ den Werth (14.) hat.

22.

In der Ausübung nimmt man gewöhnlich für b und τ *mittlere* Werthe an.

Wenn die geographische Breite eines Ortes λ Grade und seine Höhe über dem Meeresspiegel e Fufs ist, so ist

34. $$\begin{cases}1. & b = 2{,}428 - 0{,}000028\,e\ \text{F. und}\\ 2. & t = 46\cos\lambda - 0{,}00204\,e - 18\ \text{Centigrade.}\end{cases}$$

[Diese Ausdrücke heifsen im Original, unreducirt,

35. $$\begin{cases}1. & b = 0{,}762 - 0{,}00009\,e\ \text{Meter und}\\ 2. & t = 46\cos\lambda - 0{,}0065\,e - 18.\end{cases}$$

Für $e = \frac{0{,}762}{0{,}00009} = 8466$ Meter $= 26974$ F. hoch über dem Meter würde also die Spannung der Luft *Null* sein; was nicht wohl sein kann. D. H.]

Man könnte sogar b und τ ohne grofse Fehler ganz aus den Formeln wegschaffen, indem man denselben für eine gröfsere Länderstrecke, z. B. für Frankreich, *mittlere* Werthe gäbe. Für Frankreich würde man $t = 12$, also $\tau = 1{,}048$, $b_0 = 0{,}75$ Meter $= 2{,}39$ F. und $b+h = 0{,}78$ Meter $= 2{,}485$ Fufs anzunehmen haben. [Der Herr Verfasser nimmt also hier eine *unveränderliche* Zusammenpressung der Luft von $\frac{3}{75} = 0{,}04$ an. Gleichwohl behält er in den folgenden Formeln h bei und giebt τ und $b+h$ ihre Zahlenwerthe; wovon die Meinung nicht recht deutlich ist. D. H.] Dies giebt in (32. und 33.)

36. $$\left.\begin{cases}1. & Q = 613\,\delta^2\sqrt{h} = 932\,\delta^2\mu_0\sqrt{\mu}\\ 2. & P = 50{,}5\,\delta^2\sqrt{h} = 78\,\delta^2\mu_0\sqrt{\mu}\end{cases}\right\}\ d \text{ und } h \text{ in Fufsen ausgedrückt.}$$

23.

Ausströmung von beliebigen Gasen. Alles Obige läfst sich auch auf beliebige Gase anwenden. Es ist blofs noch die ***Dichtigkeit*** derselben in Rechnung zu bringen.

Es sei z. B. die Dichtigkeit $\mathfrak{d}$ eines unter h F. Manometerhöhe ausströmenden Gases $\mathfrak{d}_1$ mal die des Quecksilbers, so entspricht seine Ausströmungsgeschwindigkeit der Höhe $\frac{h}{\mathfrak{d}_1}$ und es ist nach (§. 11. und 12.) die ausgeströmte Menge $Q_1 = 2ms\sqrt{\left(g\cdot\frac{h}{\mathfrak{d}_1}\right)}$. Für ein anderes Gas von der Dichtigkeit $\mathfrak{d}_2$

wäre $Q_2 = 2ms\sqrt{\left(g\cdot\frac{h}{\mathfrak{d}_2}\right)}$, also ist

$$37.\quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{\frac{1}{\mathfrak{d}_1}}}{\sqrt{\frac{1}{\mathfrak{d}_2}}} = \sqrt{\left(\frac{\mathfrak{d}_2}{\mathfrak{d}_1}\right)};$$

das heifst: Die unter gleichem Druck ausgeströmte Menge Gas verhält sich umgekehrt wie die Quadratwurzel der Dichtigkeit der beiden Gase. Also wenn das eine Gas atmosphärische Luft von der Dichtigkeit 1 wäre, so wäre für ein anderes Gas von der Dichtigkeit $\mathfrak{d} = 1+\nu$ aus (32.):

$$38.\quad Q_1 = \tfrac{1}{2}\pi\delta^2 m\sqrt{\left(\frac{ghr q(b+h)}{ub_0\mathfrak{d}}\right)}$$

$$= 380\,\delta^2\sqrt{\left(\frac{\tau h(b+h)}{\mathfrak{d}_1}\right)}\ (b,\ h \text{ und } \delta \text{ in Fufsen ausgedrückt}).$$

[Der Ausdruck der *Geschwindigkeit* der Ausströmung wäre nach (15. und 18.)

$$39.\quad v_1 = 2\sqrt{\left(\frac{ghrqb_0}{a(b+h)\mathfrak{d}}\right)} = 1259\sqrt{\left(\frac{h\tau}{\mathfrak{d}(b+h)}\right)} = 1259\sqrt{\left(\frac{\mu\tau}{(1+\mu)(1+\nu)}\right)}].$$

24.

Erstes Beispiel. Man sucht die Menge atmosphärischer Luft, auf die Barometerhöhe von 2,4055 F. gebracht, welche ein Behälter unter 0,09558 F. Quecksilberdruck durch eine Düse von 0,2389 F. Durchmesser ausströmen werde. Man befindet sich unter dem 45ten Grade der Breite und 637 F. hoch über dem Meere.

An diesem Orte wäre nach (34.) $b = 2{,}374$ F. $t = 13$. Ferner ist $h = 0{,}09558$ F., $\delta = 0{,}2389$ F. und $b_1 = 2{,}4055$ F., also ist $\tau(4.) = 1{,}052$ und $b+h = 2{,}47$ F. Dies giebt für die Ausströmung in 1 Secunde, nach (32.),

$$40.\quad Q = \frac{920}{2{,}4055}\cdot 0{,}2389^2\sqrt{[1{,}052\,.\,0{,}09558\,.\,2{,}47]} = 10{,}88\ \text{C. F.}$$

Diese Ausströmung ist für 4 bis 5 grofse Frischschmieden *(forges d'affinerie)* hinreichend.

25.

Zweites Beispiel. Auf welche Höhe mufs das Quecksilber im Manometer steigen, damit aus einer Düse von $\delta = 0{,}19$ F. im Durchmesser $P = 0{,}68$ Pfund atm. Luft in 1 Secunde ströme? Der Barometerstand sei $b = 2{,}389$ F. und der Thermometerstand 11 Centigrade, also $\tau = 1{,}044$. Sucht man aus der Gleichung (33.) h, durch P, b, τ und δ ausgedrückt, wozu eine

quadratische Gleichung aufzulösen ist, und setzt dann die hier gegebenen Werthe dieser Buchstaben, so findet man

41. $h = 0{,}137$ F.

Nach der einfachen Formel (27.) gerechnet, findet sich

42. $h = 0{,}139$ F.

26.

Drittes Beispiel. Ein Gasometer soll in der Stunde 32346 C. F. Leuchtgas unter dem Druck einer Wassersäule von 0,143 F. hoch austreiben. Man sucht die Gröfse der Öffnung, welche dazu in der Wand des Behälters nöthig ist. Der Barometerstand sei 2,4055 F. und der Thermometerstand 15 Centigrade.

Hier ist also $b = 2{,}4055$ F. $\tau = 1{,}06$, $Q = \frac{32346}{60.60} = 8{,}985$ C. F. und $h = \frac{0{,}143}{13{,}6} = 0{,}01051$ F., weil Quecksilber 13,6 mal so viel Eigengewicht hat, als Wasser. Das Eigengewicht des Leuchtgases (kohlensauern Wasserstoffgases) ist nach ***Berzelius*** und ***Dulong*** $\mathfrak{d} = 0{,}559$ mal dasjenige der atm. Luft. Endlich ist für die Öffnung in der kupfernen dünnen Wand des Behälters $m = 0{,}65$ (30. 1.). Nimmt man für diese Werthe s aus der Formel (20.), nachdem noch nach (§. 23.) rechts mit $\sqrt{\mathfrak{d}}$ dividirt worden, so ergiebt sich

43. $s = 0{,}12$ Q. F.

[Die in (§. 10.) gedachte Bemerkung zu Dem, wovon der Vortrag dieses Abschnitts ausgeht, ist folgende.]

[26 *a.*]

[*A.* Der Herr Verfasser nimmt an, dafs wenn ein *wirksamer* Druck z. B. von h Zoll hoch Quecksilber die Luft in einem Behälter zusammenprefst, die zusammengedrückte Luft in die *atmosphärische Luft* eben so ausströmen werde, als wenn der Druck h sie in einen *leeren Raum* hinaustriebe. Er setzt in der That in (§. 11.) nach dem *Torricelli*schen Gesetz die *theoretische* Geschwindigkeit der Ausströmung

44. $v = 2\sqrt{\left(gh\frac{\mathfrak{D}}{\mathfrak{d}}\right)}$ (13.).

wo $\mathfrak{D}$ die Dichtigkeit des Quecksilbers und $\mathfrak{d}$ die der ausströmenden Luft ist.

Aber die zusammengedrückte Luft strömt doch wirklich *nicht in einen leeren Raum* aus, sondern in die *atmosphärische Luft* hinein, und findet also an dieser einen ***Widerstand,*** welcher die Ausströmungsgeschwindigkeit

nothwendig vermindern mufs. Auf die Ausströmung des *Wassers* kann man das *Torricelli*sche Gesetz meistens, ohne den Widerstand der Luft gegen den ausströmenden Strahl zu berücksichtigen, anwenden, weil die Ausströmungsgeschwindigkeit dort in der Regel nicht sehr grofs ist. (Bei hohen springenden Strahlen darf der Widerstand der Luft schon nicht unberücksichtigt bleiben.) Die Geschwindigkeit der ausströmenden *Luft* dagegen ist immer, und schon bei geringer Zusammenpressung, sehr bedeutend, wie es das Beispiel am Ende von (§. 11.) zeigte. Hier, scheint es also, dürfe man den Widerstand der Luft gegen die Ausströmung nicht ohne Weiteres aufser Acht lassen, sondern müsse wenigstens untersuchen, wieviel er betragen könne. Man kann ihn wie folgt in Rechnung bringen.

B. Wir wollen die Aufgabe vorläufig nur im Allgemeinen untersuchen. Es sei die Spannung der Luft im Behälter $= 1+\mu$, die Spannung derjenigen, in welche hinein sie ausströmt, $= 1+\nu$. Die Spannung der atmosphärischen Luft wird $= 1$ gesetzt; ν ist $= 0$ und μ positiv, wenn zusammengeprefste Luft in die Atmosphäre ausströmt. Indessen kann auch ν, und selbst μ, *negativ* sein, wenn nur $1+\mu > 1+\nu$ ist.

Die Höhe, welche die Atmosphäre haben würde, wenn sie bis oben zu so dicht wäre, als unten, sei $= H$ F., so dafs, dem Herrn Verfasser zufolge,

$$45. \qquad H = 25346$$

zu setzen ist (11.). Das Gewicht eines Cubikfufses atmosphärischer Luft sei $= \gamma$ Pfd. Die Luft von der Spannung $1+\mu$ im Behälter drückt also auf einen Quadratfufs Fläche so stark, als eine Luftsäule von der Höhe H und der Spannung $1+\mu$; folglich mit dem Gewicht $H(1+\mu)\gamma$ Pfd. Ihr entgegen wirkt die Luft von der Spannung $1+\nu$, also eine Säule von dem Gewicht $H(1+\nu)\gamma$ Pfd. Es bleibt daher nur ein *Übergewicht* des Drucks von $H(1+\mu)\gamma - H(1+\nu)\gamma = H(\mu-\nu)\gamma$. Dieses Übergewicht ist dem Gewicht einer Säule bis auf $1+\mu$ gespannter Luft von der Höhe

$$46. \qquad \frac{\gamma H(\mu-\nu)}{\gamma(1+\mu)} = H\cdot\frac{\mu-\nu}{1+\mu} \text{ F.}$$

gleich; denn jeder Cubikfufs derselben wiegt $\gamma(1+\mu)$ Pfund.

Dies ist nun die *Druckhöhe* unter welcher die Luft von der Spannung $1+\mu$ aus dem Behälter strömt. Also ist die *theoretische* Ausströmungsgeschwindigkeit, nach dem *Torricelli*schen Gesetz ausgedrückt:

$$47. \qquad v_1 = 2\sqrt{\left(gH\cdot\frac{\mu-\nu}{1+\mu}\right)}.$$

C. Nun stöfst aber die ausströmende Luft mit ihrer *wirklichen* Geschwindigkeit, welche v sein mag, auf Luft von der Spannung $1+\nu$. Der Widerstand, welchen atmosphärische Luft, also Luft von der Spannung 1, einer gegen sie sich bewegenden Fläche, also auch hier der ausströmenden Luft entgegensetzt, kann nach Versuchen durch $\frac{\gamma v^2}{3g}$ Pfd. ausgedrückt werden, also hier, wo die Luft nicht γ, sondern $(1+\nu)\gamma$ Pfd. der Cubikfufs wiegt, durch

$$48. \quad \frac{\gamma(1+\nu)v^2}{3g} \text{ Pfd.}$$

Diesem Widerstande gleicht das Gewicht einer Säule bis auf $1+\mu$ gespannter Luft von

$$49. \quad \frac{\gamma(1+\nu)v^2}{3g\gamma(1+\mu)} = \frac{(1+\nu)v^2}{3g(1+\mu)} \text{ F. hoch;}$$

also ist diese Höhe von H abzuziehen und folglich in (47.) $H-\frac{(1+\nu)v^2}{3g(1+\mu)}$ statt H zu setzen. Dies giebt für die wirkliche theoretische Ausströmungsgeschwindigkeit:

$$50. \quad v = 2\sqrt{\left[\left(gH-\frac{(1+\nu)v^2}{3(1+\mu)}\right)\frac{\mu-\nu}{1+\mu}\right]}.$$

Daraus folgt $v^2 = 4gH\cdot\frac{\mu-\nu}{1+\mu} - \frac{4(1+\nu)(\mu-\nu)v^2}{3(1+\mu)^2}$ oder $v^2\left(1+\frac{4(1+\nu)(\mu-\nu)}{3(1+\mu)^2}\right)$ $= 4gH\cdot\frac{\mu-\nu}{1+\mu}$ oder $v^2[3(1+\mu)^2+4(1+\nu)(\mu-\nu)] = 12gH(1+\mu)(\mu-\nu)$, also

$$51. \quad v = 2\sqrt{\left[\frac{3gH(1+\mu)(\mu-\nu)}{3(1+\mu)^2+4(1+\nu)(\mu-\nu)}\right]}.$$

Für den Fall, dafs zusammengeprefste Luft in die *Atmosphäre* ausströmt, ist $\nu = 0$, also

$$52. \quad v = 2\sqrt{\left(\frac{3gH\mu(1+\mu)}{3(1+\mu)^2+4\mu}\right)}.$$

Ohne Rücksicht auf den Widerstand gegen die Ausströmung war in (47.) $v_1 = 2\sqrt{\left(gH\cdot\frac{\mu-\nu}{1+\mu}\right)}$, also ist aus (47. und 51.)

$$53. \quad \frac{v}{v_1} = \sqrt{\left(\frac{3(1+\mu)^2}{3(1+\mu)^2+4(1+\nu)(\mu-\nu)}\right)} = \frac{1}{\sqrt{\left(1+\frac{4}{3}\cdot\frac{(1+\nu)(\mu-\nu)}{(1+\mu)^2}\right)}}$$

und für den Fall $\nu = 0$

$$54. \quad \frac{v}{v_1} = \sqrt{\left(\frac{3(1+\mu)^2}{3(1+\mu)^2+4\mu}\right)} = \frac{1}{\sqrt{\left(1+\frac{4\mu}{3(1+\mu)^2}\right)}}.$$

Das Letztere (welches das *Gleiche* für μ und $\frac{1}{\mu}$ giebt) thut:

55.
Für μ =	0,1	0,2,	0,5,	1,	2,	5,	10	atm. *wirksamer* Spannung.
$\frac{v}{v_1}$ =	0,951	0,919	0,878	0,866	0,878	0,919	0,951	

D. Der Ausdruck (53.) giebt für $\mu = 0$, wo ν ***negativ*** sein mufs, $\frac{v}{v_1} = \frac{1}{\sqrt{(1-\frac{4}{3}\nu(1+\nu))}}$ und für $\mu = \infty$, $\frac{v}{v_1} = 1$, also in ***beiden*** Fällen für $\frac{v}{v_1}$ einen ***endlichen*** Werth. Es mufs daher ***gröfste*** oder ***kleinste*** Werthe von $\frac{v}{v_1}$ geben.

Um dieselben zu finden, setze man

$$56. \quad 1+\tfrac{4}{3}\frac{(1+\nu)(\mu-\nu)}{(1+\mu)^2} = \varkappa,$$

so dafs nach (53.)

$$57. \quad \frac{v}{v_1} = \varkappa^{-\frac{1}{2}} \text{ ist.}$$

Dies nach μ differentiirt giebt $-\frac{1}{2}\varkappa^{-\frac{3}{2}}d\varkappa$, und dieses Differential gleich Null gesetzt, $d\varkappa = \frac{4}{3}(1+\nu)\left[\frac{1}{(1+\mu)^2} - \frac{2(\mu-\nu)}{(1+\mu)^3}\right] = 0$, also $1+\mu = 2(\mu-\nu)$ und

$$58. \quad \mu = 1+2\nu.$$

Das zweite Differential ist $+\frac{3}{4}\varkappa^{-\frac{5}{2}}d\varkappa^2 - \frac{1}{2}\varkappa^{-\frac{3}{2}}d^2\varkappa$, wo

$$d^2\varkappa = \tfrac{4}{3}(1+\nu)\left[-\frac{2}{(1+\mu)^3} - \frac{2}{(1+\mu)^3} + \frac{6(\mu-\nu)}{(1+\mu)^4}\right]$$

$$= \tfrac{4}{3}(1+\nu)\left[\frac{6(\mu-\nu)-4(1+\mu)}{(1+\mu)^4}\right] = \tfrac{4}{3}(1+\nu)\cdot\frac{2\mu-4-6\nu}{(1+\mu)^4}.$$

Da es auf den Werth des zweiten Differentiels für $\mu = 1+2\nu$ ankommt und für diesen $d\varkappa = 0$ ist, so ist das zweite Differentiel blofs $-\frac{1}{2}\varkappa^{-\frac{3}{2}}d^2\varkappa$. Nun ist für $\mu = 1+2\nu$, $\varkappa = 1+\frac{4}{3}\frac{(1+\nu)(1+\nu)}{(2+2\nu)^2} = \frac{4}{3}$ und $d^2\varkappa = \frac{4}{3}(1+\nu)\frac{2+4\nu-4-6\nu}{(2+2\nu)^4}$ $= -\frac{4}{3}(1+\nu)\frac{2+2\nu}{(2+2\nu)^4} = -\frac{1}{6(1+\nu)^4}$, also ist $-\frac{1}{2}\varkappa^{-\frac{3}{2}}d^2\varkappa = +\frac{1}{2}(\frac{4}{3})^{-\frac{3}{2}}\frac{1}{6(1+\nu)^2}$ $= \frac{1\cdot 3\cdot\sqrt{3}}{2.4.2.6(1+\nu)^2} = \frac{\sqrt{3}}{32(1+\nu)^2}$. Dieses ist, da ν zwar negativ aber nicht kleiner als -1 sein kann, ***immer*** positiv; also giebt der Werth $1+2\nu$ von μ (58.) einen ***kleinsten*** Werth von $\frac{v}{v_1}$. Für $\nu = 0$, oder für die Ausströmung in die atmosphärische Luft, ist $\mu = 1$; also für 1 Atm. ***wirksamer*** Spannung der Luft ist der Widerstand bei der Ausströmung in ***atmosphärische*** Luft am ***stärksten,***

und zwar ist nach (55.) dann $\frac{v}{v_1} = 0{,}866$. Für $\nu = -\frac{1}{2}$ giebt (58.) $\mu = 0$ und dann in (53.) $\frac{v}{v_1} = \frac{1}{\sqrt{(1+\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2})}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{3}}} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}866$. Also für die Ausströmung in Luft von der *halben* Spannung der Atm. ist der Widerstand für *atm.* Luft im Behälter am stärksten, und ebenfalls $\frac{v}{v_1} = 0{,}866$. Für $\nu = -1$ endlich, oder für die Ausströmung in einen luftleeren Raum, giebt (53.) für *jedes* μ, $\frac{v}{v_2} = 1$; wie gehörig, weil hier *gar kein* Widerstand Statt findet.

E. Man sieht hieraus, dafs die Verminderung der theoretischen Ausströmungsgeschwindigkeit ganz bedeutend ist und bis zu $1 - 0{,}866 = 0{,}134$, also über 13 pr. c. betragen kann. Der Bruch $\frac{v}{v_1}$ ist ein *Factor* desjenigen Coëfficienten m (30.), mit welchem die theoretische Geschwindigkeit wegen der Zusammenziehung des ausströmenden Strahls multiplicirt werden soll. Da aber $\frac{v}{v_1}$ nicht für jeden Druck denselben Werth hat, so kann auch m nicht immer denselben Werth haben, und zwar um so weniger, da $\frac{v}{v_1}$ sogar *kleiner* sein kann, als m sein soll, z. B. $= 0{,}866$, während $m = 0{,}93$ oder $0{,}94$ sein soll (30.).

F. Die *stärkste* wirksame Spannung der Luft im Gasometer bei den Versuchen des Herrn Verfassers, z. B. mit walzenförmigen Ansatzröhren (§. 504.), war 64,71 Linien hoch Quecksilber, also war $\mu = \frac{64{,}71}{12 \cdot 29{,}058} = 0{,}186$. Für dieses μ giebt (54.), weil bei den Versuchen $v = 0$ war, $\frac{v}{v_1} = 0{,}923$. Dies ist schon kleiner als m; also käme auf die Zusammenziehung des Strahls *nichts.* Blofs bei kleinen Spannungen käme Etwas auf die Zusammenziehung des Strahls, und sehr Bedeutendes bei Öffnungen in dünnen Wänden. In allen Fällen dürfte der Coëfficient, mit welchem man die theoretische Geschwindigkeit multipliciren mufs, um die wirkliche zu finden, nicht gröfser angenommen werden können, als $\frac{v}{v_1}$ (53.). D. H.]

Zweiter Theil.

Von der Bewegung der Luft in Röhren; und von den Gebläsen.

Erster Abschnitt.

Von der Bewegung der Luft in Röhren.

27.

Widerstand der Röhrenwände. Wenn man an einen Behälter, der mit stets gleich stark zusammengepreſster Luft gefüllt ist, eine lange Röhre setzt, die am andern Ende entweder ganz offen, oder auch verengt ist, so wird die Luft durch die Röhre fortwährend ausströmen.

Die wirksame Spannung der Luft im Behälter halte einer Quecksilbersäule von h F. hoch das Gleichgewicht. Setzte die Röhre der Ausströmung keinen Widerstand entgegen, so würde die Spannung der Luft an der Ausmündung noch eben so stark sein, als an der Einmündung, und ein Manometer an einem andern Behälter, an welchem sich die Ausmündung befindet, müfste noch dieselbe Höhe h anzeigen. Aber dem ist nicht so: die Röhre hat einen Theil der ursprünglichen Kraft vernichtet, und der Manometer am Ausflufs zeigt nur noch die Höhe $h_1 - h$, welche nun die Druckhöhe ist, unter welcher die Ausströmung erfolgt. Der Unterschied $h - h_1$ drückt den ***Widerstand der Röhrenwände*** aus.

28.

Eben, wie bei dem Wasser wird der Widerstand der Wände um so gröfser sein, je ***länger die Röhre*** und je ***gröfser ihr Umfang ist*** (1. Buch §. 184.). Er wird sich ferner umgekehrt wie der Querschnitt oder wie das ***Quadrat des Durchmessers*** verhalten, aber im Verhältnifs des Quadrats der Geschwindigkeit zunehmen. Das Glied des Ausdrucks, welches [beim Wasser] nur die erste Potenz der Geschwindigkeit enthält (1. Buch §. 107.) kann bei der Luft vernachläfsigt werden; denn nach den Beobachtungen von ***Hutton*** (Nouvelles expériences sur l'artillerie. 2me partie, traduction de Mr. ***Terquem***. p. 112 et 148) ist dieses Glied für Geschwindigkeiten der Luft von 3 bis 319 F. ganz unbedeutend, und in Luftleitungsröhren beträgt die Geschwindigkeit nicht leicht mehr als 160 und nicht leicht weniger als 3 F.

[„Der Vollständigkeit wegen setzen wir hier erst die beiden Paragraphen „(107. und 184.), auf welche der Herr Verfasser sich bezieht, her. Es ist „dort von der Bewegung des ***Wassers*** die Rede." D. H.]

„107. Da hier [*in offenen Canälen*] der Widerstand gegen die „Bewegung eine Wirkung der Wände des Rinnsals ist, so wird er um so „*gröfser* sein, je *gröfser* auf die Einheit der Länge die *Fläche* der Wände ist."

„Aber dieser Widerstand theilt sich allen durch den Querschnitt fliefsenden „Wassertheilchen mit, da sie mit einander zusammenhangen, also: je mehr dieser „Theilchen sind, das heifst, je gröfser der Querschnitt ist, um so mehr wird „die Geschwindigkeit jedes Theilchens, also auch die mittlere Geschwindigkeit „vermindert werden. Die Wirkung des Widerstandes wird sich daher *umge-* „*kehrt wie der Querschnitt verhalten*."

„Sodann wird der Widerstand mit der *Geschwindigkeit* zunehmen. „Je gröfser die Geschwindigkeit ist, um so mehr Theilchen müssen sich in „gleicher Zeit von den Wänden losreifsen, und um so schneller und mit um „so mehr Kraft mufs dies geschehen. Also wird sich die Wirkung des Wider- „standes auch wie das *Quadrat der Geschwindigkeit* verhalten."

„Auch noch die Klebrigkeit (viscosité) der Wassertheilchen verur- „sacht einen Widerstand. *Dubuat* hatte diesen wichtigen Umstand wahrge- „nommen, und *Coulomb* hat durch eine Reihe von Versuchen, welche er mit „der ihm eignen Einsicht und Genauigkeit anstellte, gefunden, dafs dieser Theil „des Widerstandes sich blofs *grade wie die Geschwindigkeit* verhält. (Mémoires „de l'Institut, classe des sciences. Tome III.)"

„Also hat der Ausdruck des Widerstandes durch die Geschwindigkeit „zwei Glieder: das eine mit der zweiten, das andere mit der ersten Potenz „der Geschwindigkeit. Das zweite Glied beträgt nur einen kleinen Theil der „Geschwindigkeit und verschwindet für grofse Geschwindigkeiten. Es ist für „Geschwindigkeiten von mehr als 0,22 Fufs kleiner als das erste Glied, aber „für kleine Geschwindigkeiten gröfser."

„Zusammengenommen mufs sich demnach der Widerstand der Wände „eines Rinnsales gegen das darin fliefsende Wasser wie der benetzte *Umfang c*, „wie das *Quadrat der Geschwindigkeit* v^2 des Wassers, *plus einen Bruch br* „der Geschwindigkeit *selbst*, und *umgekehrt wie der Querschnitt s* ver- „halten. Die Erfahrung hat gezeigt, dafs es sehr nahe sich wirklich so ver- „hält. Demnach kann, wenn noch durch a_1 ein gewisser unveränderlicher Factor „bezeichnet wird, der Widerstand der Wände durch

$$58a. \quad \frac{a_1 c}{s}(v^2 + bv)$$

„ausgedrückt werden."

„184. Da auch in *Röhren* der Widerstand gegen das Fliefsen des „Wassers von den Wänden des Rinnsals herrührt, so wird sich dieser „Widerstand wie die *Fläche der Wände*, also wie die Länge der Röhre „und ihr Umfang verhalten, weil hier die Wände *ganz* ins Wasser kommen; „füllte das Wasser die Röhre nicht ganz, so würde der Fall blofs der eines „Canals sein. Andrerseits wird sich der Widerstand der Wände um so mehr „vertheilen, je gröfser der Querschnitt der Röhre ist; er wird also um so „schwächer auf jedes Theilchen und folglich auch auf die ganze Masse wirken, „mithin *umgekehrt wie der Querschnitt* sich verhalten. Endlich wird sich „der Widerstand, wie in den Canälen (§. 107.), wie das *Quadrat der Ge-* „*schwindigkeit v*, plus einen Bruch der Geschwindigkeit selbst verhalten. Wenn „daher λ die Länge der Röhre, s ihr Querschnitt, c ihr vom Wasser be- „spülter Umfang ist, und a und b zwei unveränderliche Coëfficienten sind, „so kann der Widerstand durch

$$58b. \qquad \frac{ac\lambda}{s}(v^2 + bv)$$

„ausgedrückt werden."

Wenn man nun also die *mittlere* Geschwindigkeit der durch eine Röhre strömenden *Luft* durch u, die Länge der Röhre durch λ, ihren innern Durchmesser durch Δ bezeichnet und n_1 ein gewisser unveränderlicher Coëfficient ist, so kann man setzen:

$$59. \qquad h - h_1 = n_1 \frac{\lambda \Delta u^2}{\Delta^2} = \frac{\lambda u^2}{\Delta}.$$

29.

Es ist mit der Luft, die durch eine Röhre strömt, nicht wie mit dem Wasser; die Geschwindigkeit der Bewegung der Luft ist nicht längsaus *dieselbe;* sie nimmt vom Anfang bis zum Ende zu, und zwar in umgekehrtem Verhältnifs des Drucks: von $b + h_1$ bis $b + h$; wo b die Barometerhöhe ist.

In der That würden, wenn man zwei Querschnitte der Röhre in einiger Entfernung von einander annimmt, durch den einen Querschnitt, nachdem die Bewegung zum Beharrungsstande gelangt ist, in gleichen Zeittheilen stets eben so viel Lufttheilchen strömen müssen, als durch den andern: also werden sich, da der Druck auf den Querschnitt unterhalb schwächer, mithin die Luft in demselben weniger dicht ist, als in dem Querschnitt oberhalb, in ersterem weniger Lufttheile befinden, als in dem andern, und folglich wird sich die Luft durch den Querschnitt unterhalb schneller bewegen müssen, als durch den Querschnitt oberhalb.

Die Dichtigkeit der Luft in der Röhre wird, gleich dem Druck, der zu der Länge der Röhre im Verhältnifs steht, nach einer arithmetischen Reihe *abnehmen;* eben so also wird die Geschwindigkeit *zunehmen.* Die *mittlere* Geschwindigkeit wird sich demnach in der *Mitte* der Länge der Röhre befinden. Der Druck daselbst ist $\frac{1}{2}(b+h+b+h_1) = b+h_2$, wenn man

$$60. \quad \tfrac{1}{2}(h+h_1) = h_2$$

setzt. An der Ausmündung ist der Druck $b+h_1$, also ist, wenn man die Geschwindigkeit am Ende der Röhre durch v_1 bezeichnet, $\frac{u}{v_1} = \frac{b+h_1}{b+h_2}$, folglich

$$61. \quad u = v_1 \cdot \frac{b+h_1}{b+h_2}.$$

30.

Befindet sich an der Ausmündung der Röhre ein Ansatzrohr vom Durchmesser δ, und ist v die Geschwindigkeit der Ausströmung durch die Ausmündung, so ist, weil sich die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Querschnitte verhalten, $v_1 = v \cdot \frac{\delta^2}{\Delta^2}$, oder richtiger,

$$62. \quad v_1 = mv \cdot \frac{\delta^2}{\Delta^2} \text{ und folglich } u = mv \cdot \frac{\delta^2}{\Delta^2} \cdot \frac{b+h_1}{b+h_2} \text{ (61.)};$$

wo m der auf die Zusammenziehung des Strahls sich beziehende Factor ist, der nach (§. 20.) in der Regel $= 0{,}93$ sein wird. Ferner verhält sich, unter übrigens gleichen Umständen, v_1^2 wie h_1 und kann $= n_2 h_1$ gesetzt werden: wo wiederum n_2 ein unveränderlicher Multiplicator ist. Also kann man, statt der obigen Gleichung (62.),

$$63. \quad u^2 = n_2 h_1 m^2 \cdot \frac{\delta^4}{\Delta^4} \cdot \left(\frac{b+h_1}{b+h_2}\right)^2$$

setzen. [Was also aus (59.)

$$64. \quad h - h_1 = n_1 n_2 m^2 h_1 \frac{\lambda}{\Delta} \cdot \frac{\delta^4}{\Delta^4} \left(\frac{b+h_1}{b+h_2}\right)$$

giebt]. Setzt man nun ferner

$$65. \quad n_1 n_2 m^2 \left(\frac{b+h_1}{b+h_2}\right)^2 = n$$

[Im Original steht m statt m^2], so erhält man aus (64.)

$$66. \quad h - h_1 = n h_1 \lambda \cdot \frac{\delta^4}{\Delta^5}.$$

Hier enthält zwar n auch den *veränderlichen* Factor $\left(\frac{b+h_1}{b+h_2}\right)^2$, aber nur in sehr engen Grenzen, und die Versuche, welche n geben, bestimmen auch einschliefslich den Werth des veränderlichen Factors für gleichartige Fälle.

31.

In dem zweiten Gliede des Ausdrucks (66.) ist nur der Widerstand der Röhrenwände berücksichtigt. Es findet aber noch ein anderer Widerstand Statt, nemlich der bei der Zusammenziehung des Strahls an der *Einmündung* in die Röhre; er kommt zu dem vorigen hinzu. Sein Ausdruck ist nach (§. 204. Buch 1.):

$$67. \quad h_1 \frac{m^2\delta^4}{\Delta^4}\cdot\left(\frac{1}{m_2^2}-1\right);$$

wo m_1 der auf die Zusammenziehung des Strahls an der Einmündung sich beziehende Multiplicator ist. Dieser Widerstand müfste also noch in (66.) in Rechnung gebracht werden. Aber zufolge Dessen, was in (§. 55. und 204. Buch 1.) gesagt worden, ist die Wirkung der Zusammenziehung des Strahls an der Einmündung sehr gering, besonders in gröfsern Röhrenleitungen, und der aus der Erfahrung zu nehmende Werth von n berücksichtigt diesen Theil des Widerstandes ebenfalls schon einschliefslich.

[Deshalb setzen wir denn auch die bezogenen Paragraphen 55. und 304. nicht her. D. H.]

32.

Es bezeichnet h_1 die Höhe, auf welche das Quecksilber in einem Manometer steigen würde, der an einem Behälter an der Ausmündung bei dem Ansatzrohre angebracht wäre. Aber in der Wirklichkeit ist ein solcher Behälter niemals vorhanden. Der Manometer ist dicht bei der Ausmündung an die Röhre selbst angesetzt. Die Höhe h_2, auf welche in demselben das Quecksilber steigt, ist kleiner als die h_1, welcher die Geschwindigkeit der Ausströmung entspricht: um einen Theil, welchem die Geschwindigkeit v_0 unter der Druckhöhe des Manometers zukommt (§. 208. und 213. Buch 1.) und welche $\frac{v_0^2}{4g}$ oder, in Quecksilberhöhe ausgedrückt, $\frac{v_0^2}{4g}\cdot\frac{\mathfrak{d}}{\mathfrak{D}}$ ist. [$\mathfrak{d}$ und $\mathfrak{D}$ sind die Dichtigkeit der Luft und des Quecksilbers]. Nun ist [in Rücksicht des Verhältnisses der Querschnitte der Röhre und der Ausmündung] $\frac{v_0^2}{4g}\cdot\frac{\mathfrak{d}}{\mathfrak{D}} = \frac{v^2}{4g}\cdot\frac{m^2\delta^4}{\Delta^4}\cdot\frac{\mathfrak{d}}{\mathfrak{D}}$, und da $v^2 = 4gh_1\frac{\mathfrak{D}}{\mathfrak{d}}$ ist (12. §. 11.), so ist $\frac{v_0^2}{4g}\cdot\frac{\mathfrak{d}}{\mathfrak{D}} = h_1\frac{m^2\delta^4}{\Delta^4}$. Also ist $h_2 = h_1 - h_1\frac{m^2\delta^4}{\Delta^4} = h_1\left(1-\frac{m^2\delta^4}{\Delta^4}\right)$ und folglich

$$68. \quad h_1 = \frac{h_2}{1-\frac{m^2\delta^4}{\Delta^4}}.$$

Dieses statt h_1 in (66.) gesetzt, giebt $h - \frac{h_2}{1-\frac{m^2\delta^4}{\Delta^5}} = \frac{nh_2\lambda\frac{\delta^4}{\Delta^5}}{1-\frac{m^2\delta^4}{\Delta^5}}$ oder

$$69. \quad h\left(1-\frac{m^2\delta^4}{\Delta^4}\right)-h_2 = nh_2\lambda\frac{\delta_4}{\Delta^5}.$$

Aber die Versuche, welche wir beschreiben werden, haben gezeigt, dafs, obgleich bei denselben das Glied $\frac{m^2\delta^4}{\Delta^4}$ bis auf 0,453 stieg, der Ausdruck dennoch passender, nemlich *n unveränderlicher* ist, wenn man das Glied wegläfst, als wenn man es beibehält, das heifst, wenn man für die die Ausströmungs-Geschwindigkeit erzeugende Druckhöhe gradezu die Höhe h_1 setzt, die der Manometer angiebt.

33.

Versuche, um n für (66.) zu finden. In dem Ausdruck

$$70. \quad h - h_1 = nh_1\lambda\cdot\frac{\delta^4}{\Delta^5} \quad (66.)$$

werden für h und h_1 unmittelbar die Quecksilberhöhen in den beiden Manometern, an der Einmündung und dicht vor der Ausmündung der Röhre, angenommen.

Ich habe, um den Werth von n zu finden, wieder eine Menge von Versuchen angestellt, welche sich im 3ten und 4ten Bande der „Annales des mines von den Jahren 1828 und 1829" beschrieben finden. Ich verweise auf diese Beschreibung und mache hier nur folgende Bemerkungen.

Es war in den Gruben von *Rancié* im Departement *de l'Ariège* ein Ventilator zu bauen, der 1275 F. weit die Luft leiten sollte, welche er von einem Wassergebläse erhielt, von der Art, wie sie in den Eisenwerken der Pyrenäen, der Alpen u. s. w. gebräuchlich sind. Die Luft war in einer blechernen Röhre von 3,823 Zoll Durchmesser zu leiten.

Ich liefs die Röhre in Theilen von $63\frac{3}{4}$ F. lang legen. So wie ein Theil gelegt war, liefs ich an die Ausmündung der Röhre mehr oder weniger verengte kegelförmige Ansätze von 1,91, 1,53, 1,45 und 0,76 Zoll Mündungs-Durchmesser setzen, welche mit der Röhre fast immer einen Winkel von 135 Graden machten. Bei den Versuchen mit jeder der Mündungen gab man dem Gebläse drei verschiedene, zunehmende Wasserdruckhöhen, um allmälig gröfsere Geschwindigkeiten zu erlangen. Ein Manometer an der Ausmündung, dicht am Boden angebracht, gab die Höhe h_1 für die Ausströmung, und ein anderer, an den Behälter des Gebläses gesetzt, die Höhe h für die Einströmung an.

Um den Einfluſs des Durchmessers der Leitröhre zu erfahren, ließ ich zwei kleine Leitungen von 178½ F. lang machen, die eine mit einer Röhre von 1,912, die andere mit einer Röhre von 0,899 Zoll im Durchmesser.

Von den mehr als 1000 Versuchen, welche ich in Vereinigung mit dem Herrn Ingenieur *Marrot* anstellte, haben 325, die in den „Annales des „mines" sich beschrieben finden, zur Berechnung des Multiplicators

$$71. \quad n = \frac{h - h_1}{h_1} \cdot \frac{\Delta^5}{\lambda \delta^4} \quad (72.)$$

gedient. Die hier folgende Tafel zeigt die Ergebnisse von 40 derselben. [Im Original sind *alle* die Maafse h, h_1, Δ, λ und δ in *Metern* ausgedrückt. Die Formel (71.) hat oben und unten gleich viel, nemlich 6 Abmessungen. Wenn man also *alle* Maafse in *Pr. Fufsen* ausdrückt, bleibt der Werth von n derselbe, wie im Original. D. H.]

	Die Leitungsröhre hatte 0,3186 Fuss im Durchmesser.					
	Die Ausmündung hatte 0,1593 F. im Durchmesser.			Die Ausmündung hatte 0,0956 F. im Durchmesser.		
Länge der Leitungsröhre	Die Manometerhöhe war			Die Manometerhöhe war		
	An der Einmündung	An der Ausmündung	Werth von n	An der Einmündung	An der Ausmündung	Werth von n
Fuss	Fuss	Fuss		Fuss	Fuss	
320,53	0,0615	0,0242	0,0247	0,1064	0,0863	0,0285
382,55	0,0704	0,0242	0,0248	0,1019	0,0806	0,0272
444,47	0,0720	0,0242	0,0226	0,1093	0,0863	0,0235
509,63	0,0573	0,0172	0,0233	0,0905	0,0704	0,0220
572,56	0,0577	0,0159	0,0233	0,0761	0,0589	0,0200
635,65	0,0720	0,0188	0,0227	0,1036	0,0761	0,0223
699,40	0,0714	0,0213	0,0193	0,1077	0,0761	0,0233
761,98	0,0806	0,0201	0,0202	0,1106	0,0790	0,0206
825,10	0,0876	0,0201	0,0208	0,1163	0,0812	0,0206
891,21	0,0905	0,0188	0,0218	0,1179	0,0777	0,0228
955,86	0,0892	0,0172	0,0223	0,1163	0,0762	0,0217
1025,73	0,0975	0,0188	0,0208	0,1278	0,0835	0,0204
1079,44	0,0978	0,0159	0,0239	0,1265	0,0806	0,0204
1168,51	0,1306	0,0191	0,0254	0,1711	0,1019	0,0228
1233,50	0,1364	0,0188	0,0258	0,1278	0,0762	0,0216
			Im Durchschnitt 0,0228			Im Durchschnitt 0,0225

Die Leitungsröhre hatte 0,1593 F. im Durchmesser.
Die Ausmündung hatte 0,0956 F. im Durchmesser.

Länge der Leitungsröhre	Die Manometerhöhe war		
	An der Einmündung	An der Ausmündung	Werth von n
Fufs	Fufs	Fufs	
29,79	0,1179	0,1071	0,0244
62,13	0,1265	0,1007	0,0242
96,54	0,1223	0,0863	0,0206
128,08	0,1179	0,0835	0,0238
152,09	0,1122	0,0685	0,0248
176,93	0,1294	0,0765	0,0226
		Im Durchschnitt	0,0254

Die Leitungsröhre hatte 0,0748 F. im Durchmesser.
Die Ausmündung hatte 0,0637 F. im Durchmesser.

Länge der Leitungsröhre	Die Manometerhöhe war		
	An der Einmündung	An der Ausmündung	Werth von n
Fufs	Fufs	Fufs	
28,36	0,1720	0,0286	0,0252
56,01	0,1880	0,0193	0,0223
80,00	0,1797	0,0125	0,0238
103,93	0,1944	0,0111	0,0227
128,08	0,1609	0,0065	0,0266
161,06	0,1625	0,0085	0,0262
		Im Durchschnitt	0,0247

Ein besonderer Umstand scheint bei der gröfsern Leitungsröhre zu kleine Werthe von n gegeben zu haben; besonders für ihre Mitte. Der mittlere Werth von n für eine Ansatzröhre von 0,1274 F. Durchmesser war 0,022, und für eine Ansatzröhre von 0,0637 F. Durchmesser nur 0,020. Für eine Düse von 0,1593 F. Durchmesser war er sogleich 0,0248.

Im Gesammtdurchschnitt von *allen* Versuchen ist

72. $$n = 0{,}0238$$

34.

Druckhöhe an der Ausmündung. Es ist demnach zufolge (70.)

73. $$h - h_1 = 0{,}0238\, h_1 \lambda \cdot \frac{\delta^4}{\Delta^5} = n h_1 \lambda \frac{\delta^4}{\Delta^5}.$$

Dies giebt

74. $$h_1 = \frac{h}{1 + 0{,}0238\,\lambda \cdot \frac{\delta^4}{\Delta^5}} = \frac{42{,}02\, h \cdot \frac{\Delta^5}{\delta^4}}{\lambda + 42{,}02 \frac{\Delta^5}{\delta^4}} = \frac{h\Delta^5}{\Delta^5 + n\lambda\delta^4}.$$

[Im Originale steht durch Druckfehler $\frac{42{,}02\, h\, \Delta^5}{\lambda + 42{,}02 \frac{\Delta^5}{\delta^4}}$. D. H.]

Ich habe die Werthe von h_1, welche diese Formel giebt, mit den Ergebnissen von mehr als 300 Versuchen verglichen; sie stimmten für alle Veränderungen der Maafse in plus oder minus, für die verschiedenen Druckhöhen der Wasserkraft und für die verschiedenen Leitungs- und Ansatzröhren sehr gut, insofern der Querschnitt der letzteren zwischen 0,73 und 0,04 dessen der erstern betrug. Die Formel, obgleich der Theorie nicht streng gemäfs, ist daher durch die Erfahrung völlig begründet; wenigstens in dem Umfange, in welchem sie geprüft wurde; und über diese Grenzen gehen die Fälle meistens nicht hinaus.

35.

Ausdruck der Ausströmung. Setzt man diesen Ausdruck von h_1 (74.) in den (31.) der ausströmenden Masse Q (31.) [der in den gegenwärtigen Zeichen

$$75. \quad Q = 920\,\delta^2 \sqrt{\left(\frac{h_1 \tau}{b+h_1}\right)} = \tfrac{1}{2}\pi\delta^2 m \sqrt{\left(\frac{g h_1 \tau q b_0}{a(b+h_1)}\right)}$$

ist], so erhält man

$$76. \quad Q = \tfrac{1}{2}\pi\delta^2 m \sqrt{\left(\frac{g\tau q b_0}{a(b+h_1)}\right)} \sqrt{\left(\frac{h\Delta^5}{\Delta^5 + n\lambda\delta^4}\right)}$$

$$= 920\,\delta^2 \sqrt{\left(\frac{\tau}{(b+h_1)}\right)} \sqrt{\left(\frac{42{,}02\,h \cdot \frac{\Delta^5}{\delta^4}}{\lambda + 42{,}02\,\frac{\Delta^5}{\delta^4}}\right)}$$

$$= 5960 \sqrt{\left(\frac{\tau}{(b+h_1)}\right)} \sqrt{\left(\frac{h\Delta^5}{\lambda + 42 \cdot \frac{\Delta^5}{\delta^4}}\right)} \text{ Cubikfufs.}$$

Die Luft befindet sich hier unter der Spannung $b+h_1$. Reducirt man diese Spannung auf die Barometerhöhe $b_0 = 2{,}4215$ F., indem man für $b+h_1$ und τ aus (§. 22.) die mittleren Werthe 2,4852 F. und 1,048 setzt, also mit $\frac{b+h_1}{b_0} = \frac{2{,}4852}{2{,}4215}$ multiplicirt, so erhält man

$$77. \quad Q = \tfrac{1}{2}\pi\delta^2 m \sqrt{\left(\frac{g\tau q (b+h_1) h\Delta^5}{a b_0 (\Delta^5 + n\lambda\delta^4)}\right)}$$

$$= 5960 \cdot \frac{1}{2{,}4215} \sqrt{(1{,}048 \,.\, 2{,}4852)} \sqrt{\left(\frac{h\Delta^5}{\lambda + 42\,\frac{\Delta^5}{\delta^4}}\right)}$$

$$= 3972 \sqrt{\left(\frac{h\Delta^5}{\lambda + 42\,\frac{\Delta^5}{\delta^4}}\right)} \text{ Cubikfufs.}$$

36.

Nach der Art der Ableitung dieses Ausdrucks von Q könnte es scheinen, er sei nur auf Röhren mit Düsen von beträchtlicher Verengung, nicht aber auf ganz offene Röhren oder für $\delta = \Delta$ anwendbar. Der Erfahrung nach ist er aber auch auf diesen Fall ohne merklichen Fehler passend. Es mufs in solchem Fall, weil an der Ausmündung keine Zusammenziehung des Strahls Statt findet, der Multiplicator $m = 0{,}93$ beiseitgesetzt werden. Dadurch geht dann (76.) in

$$78. \quad Q = \tfrac{1}{2}\pi\delta^2 \sqrt{\left(\frac{g\tau q b_0 h_1}{a(b+h_1)}\right)} = 6407 \sqrt{\left(\frac{\tau}{b+h_1}\right)} \sqrt{\left(\frac{h\Delta^5}{\lambda+42\Delta}\right)} \text{ C. F.}$$

über.

Wir wollen diese Formel mit dem Ergebnisse eines Versuchs des Herrn *Girard* vergleichen. Er machte denselben an einem zur Erleuchtung eines der Hospitäler von Paris bestimmten Gasometers. Er suchte die Ausströmung durch eine Röhre, welche er allmälig verlängerte, während die Spannung im Gasometer dieselbe blieb. Diese Spannung wurde auf 0,007927 F. Quecksilberhöhe im Barometer geschätzt. Die Röhre war aus Flintenläufen zusammengesetzt, die man an einander gestofsen hatte. Die Wärme der Luft betrug zur Zeit der Versuche 19 Centigrade und die Barometerhöhe war 2,4151 F. Es ergab sich Folgendes.

79.

Länge der Röhre Fufs	Ausströmung in 1 Minute: Nach der Beobachtung. Cubikfufs	Nach der Rechnung. Cubikfufs
20,96	0,04656	0,04492
119,77	0,01853	0,01957
181,10	0,01591	0,01594
271,02	0,01323	0,01307
347,41	0,01067	0,01155
403,31	0,00993	0,01071
407,83	0,00987	0,01064
Im Durchschnitt	0,01782	0,01802

Die Ausströmung war also nach der Erfahrung geringer, als nach der Rechnung, und betrug nur $\frac{1782}{1802}$ mal die letztere; wonach dann die Formel (78.) in

$$80. \quad Q = 6337 \sqrt{\left(\frac{\tau}{(b+h_1)}\right)} \sqrt{\left(\frac{h\Delta^5}{\lambda+42\Delta}\right)} \text{ C. F.}$$

übergehen würde. Aus einer solchen Röhrenleitung strömt die Luft sehr nahe unter der Spannung b aus, während die Spannung an der Einmündung $b+h$ ist;

aber h ist sehr klein und man kann ohne Irrthum $b+\frac{1}{2}h$ und selbst $b+h$ $=2{,}4215$ F. setzen. Dies giebt statt (77.)

$$81. \quad Q = 4170\sqrt{\left(\frac{hD^5}{\lambda+42D}\right)} \text{ C. F.}$$

37.

Vergleichung der Ausströmung von Wasser und Luft. Wir wollen diese *Luft*-Ausströmung Q mit der Ausströmung Q_1 von *Wasser* durch eine gleich lange und weite Röhre und unter derselben Druckhöhe vergleichen. Es ist zufolge (§. 18. Buch 1.) für grofse Geschwindigkeiten $Q_1=36{,}44\sqrt{\left(\frac{h_1 D^5}{\lambda+36D}\right)}$, wo h_1 F. die Höhe der *Wassersäule* ist, welche den Druck auf die Strömung in der Röhre bestimmt. Setzt man statt ihrer eine Quecksilbersäule von h F. hoch, so ergiebt sich, weil dann $h_1=13{,}6h$ ist,

$$82. \quad Q_1 = 134{,}49\sqrt{\left(\frac{hD^5}{\lambda+36D}\right)} \text{ C. F.}$$

Es ist also

$$83. \quad \frac{Q_1}{Q} = \frac{4178}{136{,}49} = 30{,}55;$$

das heifst: es strömen unter demselben Drucke durch eine gleich lange und weite Röhre etwa 30mal so viele Cubikfufse Luft, als Wasser.

Nach dem Grundsatze (§. 23.) sollten sich die beiden Ausströmungen umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Dichtigkeit der beiden Flüssigkeiten verhalten, also nach (§. 17.) wie 1 zu $\sqrt{\left(\frac{1864{,}72\tau}{b+h_1}\right)}$ und weil $b+h_1=2{,}4215$ F. und $\tau=1{,}048$ ist, wie 1 zu 28,41 [was mit dem Obigen ganz gut stimmt. D. H.]

38.

Ausströmung eines beliebigen Gases. Strömt durch die Röhre ein beliebiges Gas, welches δ_1 mal so dicht ist, als atmosphärische Luft, so mufs man nach dem Grundsatze in (§. 23), um die Ausströmung zu finden, die Werthe von Q in (§. 35 und 37.) mit $\sqrt{\delta_1}$ dividiren.

39.

Widerstand in Biegungen der Röhren. Starke und kurze Krümmen der Leitungsröhre vergröfsern bedeutend den Widerstand gegen die Strömung in der Röhre. Durch zahlreiche Versuche habe ich gefunden, dafs 7 Biegungen von 45 Graden die Ausströmung um *Einviertel* vermindern.

Bei diesen Versuchen bemerkte ich, dafs der Widerstand gegen die strömende Luft, eben wie in Wasserleitungsröhren, nahe im Verhältnifs der

Quadrate der Geschwindigkeiten und der Quadrate des Sinus der Winkel der Biegungen zunimmt. Aber zu meiner grofsen Verwunderung fand ich, dafs der Widerstand nicht mit der *Zahl* der Biegungen zu-, sondern sogar abnimmt. 15 Biegungen vergröfserten den Widerstand weniger, als 7. Diese Wahrnehmung und einige andere Umstände machten es unmöglich, auch nur annäherungsweise einen Ausdruck der Vergröfserung des Widerstandes durch Biegungen der Röhre aufzustellen. In der Ausübung mufs man den Widerstand der Biegungen durch eine gute Abrundung derselben zu vermindern suchen.

40.

Der Widerstand zufälliger *Verengungen* der Leitungsröhre läfst sich, wie in (§. 200. 1. Buch) für das Wasser, durch

$$84. \quad hm^2\delta^4\left(\frac{\pi_1^2}{m^2s^2}-\frac{1}{\Delta^4}\right)$$

ausdrücken; wo s der verengte Querschnitt ist.

41.

Erstes Beispiel. An einen mit kohlensaurem Wasserstoffgas gefüllten Behälter ist eine 403 F. lange Röhre von 0,0503 F. im Durchmesser gesetzt. Die Wassersäule im Manometer am Behälter steht 0,1078 F. hoch: welches wird die Ausströmung in 1 Secunde sein?

Da hier $\Delta = 0{,}0503$ F., $\lambda = 403$ F., $h_1 = \frac{0{,}1078}{13{,}6} = 0{,}00793$ F. und $\mathfrak{d}_1 = 0{,}559$ ist, so ergiebt sich nach (83.)

$$85. \quad Q = 0{,}14 \text{ C. F.}$$

Die Erfahrung gab $Q = 0{,}136$ C. F.

Folgendes sind die Ergebnisse von vier andern Versuchen an der nemlichen Gasleitung.

86.

Länge der Röhre. Fufs	Ausströmung. Nach der Erfahrung. Cubikfufs	Ausströmung. Nach der Rechnung. Cubikfufs
120	0,0252	0,0258
181	0,0212	0,0208
271	0,0188	0,0171
347	0,0146	0,0151

Die Abweichung der Rechnung von der Erfahrung ist, wie man sieht, nur gering.

42.

Zweites Beispiel. An einen Luftbehälter, dessen Quecksilber-Manometer 0,175 F. hoch steht, ist eine 1036 F. lange Röhre von 0,382 F. im

Durchmesser gesetzt. Welchen Durchmesser mufs die Düse haben, damit in der Secunde 3,558 C. F. Luft ausströme?

Entwickelt man aus der Formel (77.) δ, so ergiebt sich

87. $\delta = 0{,}1386$ F.

[Es dürfte hier zu bemerken sein, dafs die Formel (74.) nur für ***kleine h*** gelten kann, wie sie es auch bei den Versuchen (§. 35.) waren, nemlich nur etwa für $\frac{1}{20}$ Atmosphäre. Für gröfsere h darf in (64.) $\frac{b+h}{b+h_1} = \frac{b+h_1}{b+\frac{1}{2}(h+h_1)}$ (§. 29.) nicht constant gesetzt werden, sondern man mufs in (65.) $n_1 n_2 m^2 = n$ setzen, also in (66.) $h - h_1 = nh\left(\frac{b+h_1}{b+\frac{1}{2}(h+h_1)}\right)^2 \lambda \cdot \frac{\delta^4}{\Delta^5}$ und daraus h_1 für (71.) entwickeln. D. H.]

Zweiter Abschnitt.

Von den Gebläsen.

43.

Verschiedene Arten derselben. Gebläse sind Maschinen, welche einen ununterbrochenen Luftstrom hervorbringen; entweder um das Feuer in Schmieden oder Hohöfen anzublasen, oder zur Luftreinigung.

Sonst waren dergleichen Maschinen entweder gewöhnliche lederne Blasebälge, oder sie bestanden aus zwei hölzernen Kasten, der eine feststehend, der andere beweglich und mit hölzernen Leisten eingefafst. Jetzt sind die Gebläse fast überall grofse walzenförmige oder prismatische, wenigstens an einem Ende verschlossene Pumpenstiefel aus gegossenem Eisen, Holz oder Marmor, in welchen sich ein mit Leder oder Schienen belegter Pumpenkolben bewegt. Die Pumpe hat zwei Klappen, die eine zum Eintritt, die andere zum Ausgange der Luft, und ist entweder einfach- oder doppel-wirkend. Man findet dergleichen Maschinen im 3ten Bande des Buchs „Richesse minerale" von Herrn *de Villefosse*, so wie in den Lehrbüchern der Mineralogie beschrieben; namentlich in *Karsten's* Lehrbuch der Eisenhüttenkunde, im 2ten Bande der französischen Übersetzung von 1830.

In einigen Gegenden bedient man sich auch der ***Wassergebläse*** (soufflets hydrauliques), wo Wasser die Stelle des Pumpenkolbens vertritt. Hier ist der Kolben unbeweglich und der Pumpenstiefel bewegt sich. Das Gebläse besteht entweder in einer grofsen Glocke, wie ein Gasometer, der in ein Gefäfs voll Wasser auf- und niederbewegt wird, oder in halb mit Wasser gefüllten Tonnen, mit Scheidewänden und Klappen, die um ihre Achse gedreht

werden. Ich habe im 9ten Bande der „Annales des mines von 1824" die Beschreibung einer solchen Maschine gegeben.

In Gebirgen, wo es hohe Wassergefälle giebt, bedient man sich auch der *Säulenwassergebläse* (trompes). Ein solches Gebläse besteht aus einer senkrecht gestellten Röhre, die an ihrer obern Einmündung ein wenig verengt ist und in welche man einen Wasserstrom sich stürzen läfst, der dann die Luft mit sich fortreifst, welche durch kleine Öffnungen oder Saugröhren eindringt, die unterhalb der Verengung sich befinden. Die mit fortgerissene Luft wird in einen Behälter getrieben und aus demselben durch eine Röhre fortgeleitet.

Die in (§. 471. Buch 1.) erwähnte Art von Gebläsen, in einer Archimedischen Schnecke bestehend, ist mir nicht näher bekannt. Es soll eine solche Maschine an einem Hoh-Ofen des Herrn *Köchlin* bei Mühlhausen [im Elsafs] gute Dienste leisten.

Die verschiedenen Arten von Gebläsen treiben die Luft in Leitröhren nach einem bestimmten Puncte. Zuweilen gehen die Leitröhren unmittelbar von den Gebläsen aus; meistens aber, und wenn man einen ununterbrochenen Luftstrom haben will, treiben drei oder vier Pumpen die Luft erst in einen gemeinschaftlichen Behälter, und aus diesem wird sie in Röhren nach ihren Bestimmungs-Orten geführt.

Die *dynamische Kraft*, welche die Gebläse der Luft geben und vermöge deren die Luft in bestimmten Massen und mit bestimmter Geschwindigkeit durch die Leitröhre und aus derselben strömt, giebt den Ausdruck der Wirkung der Maschine, die blofs bestimmt ist, die Luft auszublasen, ohne sonst einen Widerstand zu überwinden. Die Nutzwirkung besteht blofs darin, dafs eine bestimmte Masse Luft mit einer bestimmten Geschwindigkeit durch die Düse strömt.

44.

Nutzwirkung. Das Maafs der Nutzwirkung einer Maschine ist im allgemeinen das Gewicht des Körpers, welchen sie in Bewegung setzt, und die der Geschwindigkeit der Bewegung entsprechende freie Fallhöhe. Ferner entspricht die Geschwindigkeit, mit welcher irgend ein flüssiger Körper unter einem gewissen Druck aus einem Behälter strömt, der Höhe (als freier Fallhöhe) einer Säule der ausströmenden Flüssigkeit, deren Gewicht dem Drucke gleich ist. Diesen beiden Grundsätzen zufolge wird die Nutzwirkung eines Gebläses durch *das Product des Gewichts der in 1 Secunde ausströmenden Luft in die der Geschwindigkeit entsprechende Höhe einer Luftsäule ausgedrückt.*

Folgendes ist der directe Beweis dieses Hauptlehrsatzes. Man nehme ein Gebläse an, bestehend aus einem Pumpenstiefel mit Kolben und mit einer Ansatzröhre unmittelbar am Stiefel.

Die Fläche des Kolbens sei Σ Q. F.

Seine Geschwindigkeit im Aufsteigen sei v F.

Die Höhe des Quecksilbers im Manometer an dem Deckel des Stiefels $= h$ F.

Das Eigengewicht des Quecksilbers, wie oben, $= q$ Pfd.

Die Fläche der Ausströmungs-Öffnung, berichtigt in Rücksicht der Zusammenziehung des Strahls, $= \sigma$ Q. F.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft durch diese Öffnung ausströmt, $= v$ F.

Das Eigengewicht der ausströmenden Flüssigkeit $= a$ Pfd.

Endlich das Gewicht der in einer Secunde ausströmenden Masse $= p$ Pfd.

Dann ist zunächst offenbar

$$88. \quad p = \sigma a_1 V \text{ Pfd.}$$

Da die Ausströmung stetig fortdauert, so lange der Kolben aufsteigt (abgesehen von den ersten Augenblicken der Bewegung), so verhalten sich die Geschwindigkeiten v und V umgekehrt wie die Querschnitte σ und Σ; also ist

$$89. \quad \Sigma v = \sigma V$$

und folglich in (88.) $p = \Sigma v a_1$, mithin

$$90. \quad v = \frac{p}{\Sigma a_1} \text{ F.}$$

Ferner ist die Kraft, welche der Kolben anwenden mufs, um die Luft über sich bis zu derjenigen Spannung zusammenzudrücken, die dem Gewicht einer h F. hohen Quecksilbersäule gleich ist, dieselbe, welche nöthig sein würde, eine über die Fläche des Kolbens ausgebreitete h F. hohe Quecksilberschicht, also das Gewicht

$$91. \quad \Sigma h q \text{ Pfd.}$$

emporzuheben. Nun wird die Wirkung einer Maschine durch das Product des Gewichts in den Raum ausgedrückt, durch welchen sie dasselbe in 1 Secunde emporhebt. Dieser Raum ist hier $= v$ F.; also wird die Wirkung des Gebläses durch

$$92. \quad v \Sigma h q \ (93.) = \frac{p}{\Sigma a_1} \cdot \Sigma h q \ (92.) = p h \cdot \frac{q}{a_1};$$

ausgedrückt, folglich durch das Product des Gewichts von p Pfd. der in einer Secunde

ausströmenden Luft in die der Geschwindigkeit der Ausströmung entsprechende freie Fallhöhe $h.\frac{q}{a_1}$; wie es behauptet wurde. [Da nemlich die Luft unter der dem Gewicht der H F. hohen Quecksilbersäule gleichen Spannung ausströmt und das Gewicht der H F. hohen Quecksilbersäule dem einer $h\cdot\frac{q}{a_1}$ F. hohen Luftsäule gleich ist, so ist $h\cdot\frac{q}{a_1}$ die der Ausströmungsgeschwindigkeit v entsprechende Höhe einer Luftsäule. D. H.]

Diese Höhe ist auch $=\frac{V^2}{2g}$. Die Masse M von Luft, welche p Pfund wiegt, kann durch $\frac{p}{2g}$ ausgedrückt werden: also läfst sich auch die Nutzwirkung durch $\frac{1}{2}MV^2$ ausdrücken. Die Wirkung eines Gebläses ist also die Hälfte der *lebendigen Kraft der ausströmenden Luft.* [Dies bezieht sich auf den in Französischen dynamischen Schriften gebräuchlichen Begriff von *lebendiger Kraft.* Man sehe deshalb z. B. „*Coriolis,* du calcul de l'effet des „machines. 1829." D. H.]

45.

Wenn die Ausströmungs-Öffnung unmittelbar am Pumpenstiefel sich befindet, so ist das *Gewicht* der in 1 Secunde ausströmenden Luftmasse

93. $$p = 32{,}6\,\delta^2\sqrt{\left(\frac{h(h+b)}{\tau}\right)}\ (33.\ §.\ 21.) = \tfrac{1}{2}\pi m\delta^2\sqrt{\left(\frac{gqah(b+h)}{\tau b_0}\right)}\ \text{Pfd.},$$

die der Ausströmung entsprechende Fallhöhe aber

94. $$\frac{q}{a_1}h = \frac{\tau q b_0 h}{a(b+h)} = \frac{10472\,\tau h b_0}{b+h}\ (14.\ §.\ 11.),$$

also ist die Nutzwirkung des Gebläses zufolge (92.), da $b_0 = 2{,}4215$ ist:

95. $$ph\frac{q}{a_1} = \tfrac{1}{2}\pi m\delta^2 q\sqrt{\left(\frac{gqh^3\tau b_0}{a(b+h)}\right)} = 32{,}6\,.\,10472\,\delta^2 b_0\sqrt{\left(\frac{h^3\tau}{b+h}\right)}$$
$$= 82467\,b\delta^2\sqrt{\left(\frac{h^3\tau}{b+h}\right)}.$$

46.

Wenn die Luft, statt unmittelbar am Stiefel des Gebläses auszuströmen, erst eine lange Röhre durchlaufen mufs, an deren Ende eine Düse ist, bei welcher ein Quecksilber-Manometer h_1 F. hoch steht, so wird die Nutzwirkung nach (95.) durch

96. $$ph_1\frac{q}{a_1} = 82467\,b\delta^2\sqrt{\left(\frac{h_1^3\tau}{b+h_1}\right)} = \tfrac{1}{2}\pi m\delta^2 q\sqrt{\left(\frac{gqh_1^3\tau b_0}{a(b+h_1)}\right)}$$

ausgedrückt.

Da es in der Ausübung immer nur auf Näherungen durch die Formeln ankommt, so kann man für τ und $b+h_1$ die *mittleren* Werthe aus (22.) setzen, nemlich

97. $\tau = 1{,}048$ und $b+h_1 = 2{,}485$ F., $b_0 = 2{,}390$ F.

Man erhält dann aus (98.)

98. $$ph_1\frac{q}{a_1} = 53200\delta^2 h_1^{\frac{3}{2}};$$

wo h_1 die Quecksilberhöhe im Manometer an der Ausströmungs-Öffnung ist.

47.

Welches auch die Leitröhre sein mag: das Gewicht p der in einer Secunde ausströmenden Luft bleibt immer nach (36. 2.) $= 50{,}5\delta^2\gamma/h_1$, und die Spannung, welche die Ausströmung hervorbringt, wird immer durch h_1 ausgedrückt. Aber an der *Einmündung* der Röhre, auf welche das Gebläse wirkt, ist die Spannung $= h$, nemlich um den Widerstand $h-h_1$ der Röhrenwände gröfser, so dafs also die dynamische Wirkung der *Maschine*, welche $= E$ sein mag, $\frac{h}{h_1}$ mal so grofs als die (98.) sein mufs, und folglich

99. $$E = 532200\delta^2 h_1^{\frac{3}{2}}\cdot\frac{h}{h_1} = 535520\delta^2 h\gamma/h_1 \text{ ist.}$$

48.

Die Quecksilberhöhen h und h_1 sind fast nie weder gegeben, noch werden sie gesucht. Man mufs sie daher durch *gegebene* Gröfsen zu ersetzen suchen.

Zunächst kann man h aus (74. §. 34.) nehmen, was

100. $$h = h_1\left(1+0{,}0238\lambda\frac{\delta^4}{\Delta^5}\right) = \frac{h_1}{42}\left(42+\lambda\cdot\frac{\delta^4}{\Delta^5}\right) = \frac{h_1(\Delta^5+n\lambda\delta^4)}{\Delta^5},$$

also statt (99.)

101. $$E = 12750\left(42+\lambda\cdot\frac{\delta^4}{\Delta^5}\right)\delta^2 h_1^{\frac{3}{2}}$$

giebt. Sodann kann man $h_1^{\frac{3}{2}}$ aus (36. 2. §. 22.) nehmen, wo p das Gewicht der in einer Secunde ausströmenden Luft ist. Dieses giebt

102. $$h^{\frac{3}{2}} = \frac{p^3}{59{,}5^3\delta^6}$$

und, in (101.) gesetzt,

103. $$E = \frac{12{,}750p^3}{50{,}5^3}\left(\frac{42}{\delta^4}+\frac{\lambda}{\Delta^5}\right) = 0{,}10135p^3\left(\frac{42}{\delta^4}+\frac{\lambda}{\Delta^5}\right).$$

Will man die ausströmende Luft, statt durch ihr Gewicht, durch den Raum Q, welchen sie einnimmt, ausdrücken, so ist nach (1. §. 6.) für 2,4215 F.

Barometerhöhe und 12 Grad Wärme, weil für denselben 1 C. F. Luft $\frac{0{,}085708}{1{,}048}$ $= 0{,}081778$ Pfd. wiegt,

$$104. \quad p = 0{,}081778\,Q,$$

also in (103.)

$$105. \quad E = 0{,}000055439\,Q^3\left(\frac{42}{\delta^4} + \frac{\lambda}{d^5}\right).$$

[Statt $h^{\frac{1}{2}}$ aus (36. 2. §. 21.) zu nehmen, dürfte man es wenigstens aus (33.) nehmen müssen; nemlich ohne wie in (§. 22.) $b+h$ constant zu setzen (das h in §. 22. ist das h in §. 48.). Dies hat dann Einflufs auch auf die weitern Entwicklungen in (§. 49.). D. H.]

49.

Dies ist, in Pr. Fufsen und Pfunden, das Moment der Kraft, welche nöthig ist, die Luft durch die Röhre zu treiben. Aber die Kraft der dazu nöthigen Maschine mufs stärker sein, z. B. die Kraft des Luftpumpenkolbens; denn die Maschine mufs noch die Reibung des Pumpenkolbens u. s. w. überwinden. Desgleichen entsteht aus dem sogenannten *schädlichen Raum* in der Luftpumpe, der zwischen dem Kolben und dem Deckel der Luftpumpe bleibt und der sich bei jedem Hube mit Luft füllt, die zusammengedrückt wird und hernach sich wieder ausdehnt, ohne aus dem Stiefel zu kommen, ein Verlust an Kraft. Endlich entweicht ein beträchtlicher Theil der in den Stiefel getretenen Luft, der vierte, dritte Theil und zuweilen noch mehr, durch die Bekleidung des Kolbens und durch nicht genau schliefsende Fugen, und obgleich dieser Theil nicht ohne Nutzwirkung ist, so ist doch Kraft nöthig, ihn bis zu dem Ort der Ausströmung hinzutreiben. Aller dieser Umstände wegen mufs *E gröfser* sein, als (105.) angiebt. Das E in (105.) mufs noch mit einem Coëfficienten $\varepsilon > 1$ multiplicirt werden.

50.

Grundgleichung. Hier, wie bei allen Maschinen, kann durch $\varepsilon_1 \mathfrak{P}\mathfrak{H}$ das Moment der Kraft ausgedrückt werden, wenn $\mathfrak{P}$ das Gewicht und $\mathfrak{H}$ das Gefälle des die Maschine treibenden Wassers bezeichnet. Setzt man also $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} = k$, so ist $k\mathfrak{P}\mathfrak{H}$ das obige E (105.), und folglich

$$106. \quad k\mathfrak{P}\mathfrak{H} = 0{,}000055439\,Q^3\left(\frac{42}{\delta^4} + \frac{\lambda}{d^5}\right).$$

Der Factor k ändert sich nach der Art der bewegenden Maschine und es kommt darauf an, ihn zu bestimmen.

51.

Es kommt auf einen *mittleren* Werth von k an.

Bei gut gebauten Gebläsen, mit genau gebohrten Stiefeln aus gegossenem Eisen, und durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt, kann man annehmen:

107. $k = 0{,}50.$

Für ein gewöhnliches Gebläse, durch ein oberschlächtiges Wasserrad mit Schaufeln in Bewegung gesetzt, kann man nach meiner Erfahrung bei dergleichen Maschinen (M. s. „Observations sur les machines soufflantes à pistons des usines à fer du Sud-Ouest de la France." Annales des mines tome XI. 1825.) mit Einschlufs des unvermeidlichen Verlustes an Luft setzen:

108. $k = 0{,}24.$

Ist das Wasserrad unterschlächtig, so ist nur

109. $k = 0{,}14.$

Für Wassergebläse, wo die Reibung des Wassers gering ist und wenig Luft verloren geht, kann man setzen:

110. $\begin{cases} 1. & k = 0{,}30 \text{ für oberschlächtige und} \\ 2. & k = 0{,}18 \text{ für unterschlächtige Räder.} \end{cases}$

Endlich ist nach den Versuchen der Herrn *Tardy* und *Thibaud*, so wie nach denen, welche ich gemeinschaftlich mit Herrn *Marrot* angestellt habe, für sonst gut eingerichtete Wassersäulengebläse (trompes):

111. $k = 0{,}10.$

So also wechselt der Factor k bis zum 4ten oder 5ten Theil, je nachdem die bewegende Maschine weniger angemessen eingerichtet und erhalten ist.

52.

Ausdruck der Ausströmung. Für die Ausströmung Q ergiebt sich aus (106.)

112. $$Q = 26{,}226 \sqrt[3]{\left(\frac{k\mathfrak{P}\mathfrak{H}}{\frac{\lambda}{\Delta^5} + \frac{42}{\delta^4}}\right)}.$$

Wenn die Ausströmungsmündung ganz offen, also $\delta = \Delta$ wäre, würde Q in dem Verhältnifs von 3972 zu 4170 (77. und 81.) gröfser sein, also

113. $$Q = 27{,}534 \sqrt[3]{\left(\frac{k\mathfrak{P}\mathfrak{H}\Delta^5}{\lambda + 42\Delta}\right)}.$$

53.

Durchmesser der Röhre. Auf denselben kommt es an, wenn die Ausströmung, die Länge der Röhre und die Kraft der Maschine gegeben sind. Es findet sich aus (106.) $k\mathfrak{P}\mathfrak{H} - 0{,}000055439\,Q^3 \cdot \frac{42}{\delta^4} = 0{,}000055439\,Q^3 \cdot \frac{\lambda}{\Delta^5}$, also $\Delta^5 = \frac{0{,}000055439\,Q^3\lambda}{k\mathfrak{P}\mathfrak{H} - 0{,}000055439\,Q^3 \cdot \frac{42}{\delta^4}}$ und

$$114. \quad \Delta = 0{,}14085 \sqrt[5]{\left(\frac{Q^3\lambda}{k\mathfrak{P}\mathfrak{H} - 0{,}002328438\frac{Q^3}{\delta^4}}\right)} \text{ Fufs.}$$

Zuweilen ist die Geschwindigkeit v gegeben, mit welcher die Luft aus der Röhre strömen soll. Für diesen Fall mufs man, weil

$$115. \quad Q = 0{,}93 \cdot \tfrac{1}{4}\pi\delta^2 v$$

ist, in (114.) $\delta^2 = \frac{Q}{0{,}93 \cdot \frac{1}{4}\pi v}$, also $\delta^4 = \frac{16\,Q^2}{0{,}93^2 . \pi^2 v^2}$ setzen; was

$$116. \quad \Delta = 0{,}14085 \sqrt[5]{\left(\frac{Q^3\lambda}{k\mathfrak{P}\mathfrak{H} - 0{,}002328438 . 0{,}93^2 \cdot \frac{1}{16}\pi^2 v^2 Q}\right)}$$

$$= 0{,}14085 \sqrt[5]{\left(\frac{Q^3\lambda}{k\mathfrak{P}\mathfrak{H} - 0{,}0012422\, v^2 Q}\right)}$$

giebt.

54.

Leitung heifser Luft. Bisher ist angenommen, dafs das Gebläse nur Luft von der Wärme der Atmosphäre ausströmen solle. Seit einiger Zeit hat man es aber vortheilhaft gefunden, in gewisse Schmelz-Öfen Luft zu blasen, welche wenigstens bis zu 300 Centigraden erwärmt ist. Zu diesem Zweck wird die Leitröhre durch eine Esse gelegt, welche der Luft diese Wärme giebt. Es ist also dann in allen obigen Formeln, bis zu (§. 48.), $t = 300$ zu setzen. Aber die Formel (74.), welche h_1 aus h giebt und auf den von ***Rancié*** angestellten Versuchen beruht, ist bei einem solchen starken Unterschiede der Wärme der ein- und ausströmenden Luft nicht mehr passend und die Ausdrücke des Moments der Wirkung (§. 48. etc.) sind dann nicht mehr dieselben.

Für ***kurze*** Leitröhren, deren Durchmesser gegen den der Düse bedeutend grofs und wo also h von h_1 wenig verschieden ist, kann man nach den Formeln, mit einer kleinen Vergröfserung der Ergebnisse, rechnen. Wenn für Luft, blofs von den 12 Graden Wärme der Atmosphäre, wie in (4.),

$1+0{,}004t=\tau$, und für heifse Luft, z. B. von 350 Grad Wärme, $1+0{,}004t=\tau_1$ gesetzt wird, steigt die nöthige Kraft [wie z. B. aus (96.) zu sehen] in dem Verhältnisse von $\sqrt{\tau_1}$ zu $\sqrt{\tau}$ und ist also $\frac{\sqrt{\tau_1}}{\sqrt{\tau}}=\frac{\sqrt{(2{,}400)}}{\sqrt{(1{,}048)}}=1{,}49$ mal so grofs. Dabei ist die eingeblasene heifse Luftmasse nur 0,67mal diejenige der kältern Luft: es ist also zu der gleichen Wirkung mehr als die doppelte Kraft nöthig. Nimmt man übrigens aus dem Ausdrucke der Ausströmung den Werth von h und setzt ihn in den Ausdruck des Moments, so erhält man den genauen Werth des Gesuchten.

Herr *Combes* hat in einer Abhandlung, von welcher noch weiter die Rede sein wird, nach seinen eigenen Ansichten, für die nöthige Kraft den Ausdruck

$$117.\qquad \frac{4\tau_1 Q^3 a}{\tau g\pi^2}\left[\frac{1}{m^2\delta^4}+\frac{0{,}0238}{\Delta^5}\left(\frac{\lambda_1\tau}{\tau_1}+\lambda_2\right)+\frac{2\log\text{nat}\frac{\tau_1}{\tau}}{\Delta^4}\right]$$

aufgestellt, wo λ_1 die Länge des Theils der Röhre von der Pumpe bis zu der die Luft erwärmenden Esse und λ_2 den Rest der Länge bezeichnet. Für das Verhältnifs dieser Kraft zu der für nicht erwärmte Luft, findet Herr *Combes* für das gleichbleibende Q:

$$118.\qquad \frac{\tau_1}{\tau}\cdot\left[1+\frac{2\log\text{nat}\frac{\tau_1}{\tau}}{\frac{\Delta^4}{m^4\delta^4}+0{,}0238\frac{\lambda}{\Delta}}\right].$$

[In diesen beiden Formeln ist die Zahl 0,0238 nicht auf Preufsisches Maafs reducirt. Sie ist aber wahrscheinlich die nemliche wie in (§. 34.), und bleibt also wie dort auch dieselbe. D. H.]

55.

Beispiele. I. Es sollen einem Eisenhohofen, der mit Cokes geheizt wird, in der Secunde $Q=32{,}3458$ C. F. (1 Cub. Meter) Luft mit $c=478$ F. Geschwindigkeit zugeführt werden. Das Gebläse soll durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt werden und die Leitröhre soll $\lambda=303$ F. lang und $\Delta=0{,}956$ F. im Durchmesser sein. Welche Kraft wird die Maschine haben müssen?

Diese Kraft ist ℌ (§. 50.). Die Formel (106.) giebt dieselbe, sobald man den Durchmesser δ der Düse bestimmt hat. Für diesen ergiebt sich aus (15.)

$$119.\qquad \delta=\sqrt{\left(\frac{Q}{0{,}93.\frac{1}{4}\pi^2 c}\right)}=\sqrt{\left(\frac{32{,}3458}{0{,}93.\frac{1}{4}\pi.478}\right)}=0{,}30437\text{ F.}$$

Man wird die Luft durch zwei Düsen, jede von 0,2167 F., oder durch drei Düsen, jede von 0,1721 F. im Durchmesser, in den Ofen strömen lassen.

Da das Gebläse von einer Dampfmaschine in Bewegung gesetzt werden soll, so ist nach (107.) $k = 0{,}5$; also ist nun nach (106.)

$$120.\quad \mathfrak{PS} = \frac{0{,}000055439}{0{,}5} \cdot 32{,}3458^3 \left[\frac{42}{0{,}30437^4} + \frac{303}{0{,}956^5}\right] = 19788.$$

Dies thut, die Pferdekraft = 510 gesetzt [75 in Metern und Kilogrammen] 39 Pferdekräfte.

Wenn alles Übrige Dasselbe bleibt und nur der Durchmesser Δ der Leitröhre verändert wird, so würden, wie sich aus der Formel findet, nöthig sein:

$$121.\quad \begin{cases} \text{Für } \Delta = 0{,}796 \text{ F. } . \; . \; . \; \mathfrak{PS} = 43 \text{ Pferdekräfte.} \\ - \; \Delta = 0{,}637 \; - \; . \; . \; . \; - \; - \; 57 \; - \; - \; - \\ - \; \Delta = 0{,}478 \; - \; . \; . \; . \; - \; - \; 120 \; - \; - \; - \\ - \; \Delta = 0{,}398 \; - \; . \; . \; . \; - \; - \; 254 \; - \; - \; - \\ - \; \Delta = 0{,}318 \; - \; . \; . \; . \; - \; - \; 714 \; - \; - \; - \\ - \; \Delta = 0{,}172 \text{ F. gleich dem} \\ \qquad \text{Durchmesser der Düse } \mathfrak{PS} = 889 \text{ Pferdekräfte.} \end{cases}$$

Dieses beweiset, wie nöthig es sei, der Leitröhre *viel mehr* Durchmesser zu geben, als der Düse; selbst wenn, wie in dem gegenwärtigen Beispiel, die Leitröhre nicht sehr lang ist.

Eben Dies zeigten mir Versuche, welche ich mit dem Ventilator zu *Rancié* anstellte. Die Leitröhre war 1233 F. lang und 0,318 F. im Durchmesser weit. Die Nutzwirkung war

$$122.\quad \begin{cases} \frac{h_1}{h} = 0{,}88 \text{ für } \Delta = 5\,\delta, \\ - \; = 0{,}57 \; - \; - \; - \; 3\tfrac{1}{2}\,\delta, \\ - \; = 0{,}35 \; - \; - \; - \; 2\tfrac{1}{2}\,\delta, \\ - \; = 0{,}13 \; - \; - \; - \; 2\,\delta, \end{cases}$$

Man sieht auch hieraus, wie schnell die Nutzwirkung mit $\frac{\Delta}{\delta}$ abnimmt.

II. Wenn die Gebläse in dem vorigen Beispiele, statt durch Dampfmaschinen, durch oberschlächtige Wasserräder mit 15,93 F. Gefälle in Bewegung gesetzt würden, während alles Übrige Dasselbe bleibt, so müfste man nach (108.) $k = 0{,}24$ setzen und würde statt (120.) $\mathfrak{PS} = 41225$ finden. Und da nun das Gefälle 15,93 F. sein soll, so würde ein Wasser-Ergufs von $\frac{41225}{15{,}93}$ Pfd. oder $\frac{41225}{66 \cdot 15{,}93} = 39{,}2$ Cub. F. in der Secunde nöthig sein.

III. Ein Ventilator soll in der Secunde $Q = 2{,}588$ C. F. Luft liefern, auf $\lambda = 4780$ F. von der Maschine entfernt. Dieselbe ist ein Wassersäulengebläse (trompe), für welches nach (111.) $k = 0{,}10$ ist, mit 1,617 C. F. oder $\mathfrak{P} = 106{,}7$ Pfd. Wasser-Ergufs und $\mathfrak{H} = 17{,}52$ F. Gefälle. Welchen Durchmesser Δ wird die Leitröhre bekommen müssen?

Der Ausdruck (113.) wird den gesuchten Werth von Δ geben; und da hier die Länge λ der Röhre gegen den Durchmesser Δ sehr grofs ist, so kann man in (113.) zunächst 42Δ weglassen und blofs $Q = 27{,}534\sqrt[3]{\left(\frac{k\mathfrak{P}\mathfrak{H}\Delta^5}{\lambda}\right)}$ setzen, was

$$123. \qquad \Delta = \sqrt[5]{\left(\frac{\lambda Q^3}{28{,}534^3 k\mathfrak{P}\mathfrak{H}}\right)}$$

giebt. Setzt man darauf ferner den gefundenen Werth von Δ in (113.) selbst, um Δ noch genauer zu finden, so ergiebt sich $\Delta = 0{,}46$ F., wofür man zur Sicherheit 0,48 F. annehmen kann; und selbst noch mehr, wenn das Blech zur Röhre ohne grofse Erhöhung der Kosten es zuläfst.

Anmerkung. Ich hatte, wie in (§. 33.) bemerkt, in den Gruben von *Rancié* Luftleitungen machen zu lassen. Ich suchte in den Schriften über die Bewegung der flüssigen Körper Regeln, nach welchen ich mich richten könne, fand aber nichts dergleichen. Ich mufste mich also, die Wichtigkeit des Gegenstandes überhaupt berücksichtigend, selbst darum bemühen. So beobachtete ich denn sorgfältig das Verhalten des Manometers, so wie die verschiedenen Röhren allmälig und theilweise gelegt wurden, und daraus ergaben sich die Ausdrücke, welche in dem gegenwärtigen Abschnitte mitgetheilt sind. Sie sind unmittelbar aus der Erfahrung genommen, sind einfach und werden den Ingenieurs, die in ähnliche Fälle kommen, wie der meinige war, völlig genügen.

Seitdem haben zwei berühmte Mathematiker, die Herren *Navier* und *Poncelet*, von einigen Hypothesen, so wie von den Ergebnissen meiner Versuche ausgehend, eine mathematische und allgemeine Theorie der Bewegung der luftförmigen Körper aufgestellt. Die des Herrn *Navier* enthält sein „Mémoire „sur l'écoulement des fluides élastiques dans les vases et les tuyaux de con„duite." (Mémoires de l'acad. d. sc. de l'Institut 1829.) Die Arbeit des Herrn *Poncelet* befindet sich in seinen (lithographirten) Vorlesungen an der Artillerieschule zu Metz.

Der von Herrn ***Poncelet*** aufgestellte Ausdruck ist

$$124. \quad h - h_1 = \left(1 + \left(\frac{1}{m_1} - 1\right)^2 + 0{,}0246\,\frac{\lambda}{\Delta}\right) \frac{m^2 h_1 \delta^4}{\Delta^4 \left(1 - \frac{m^2 \delta^4}{\Delta^5}\right)}.$$

Derselbe weicht von dem meinigen (73. §. 34.) zunächst durch das Glied $1 + \left(\frac{1}{m_1} - 1\right)^2$ ab, welches aber nur 1,006 beträgt und sich auf die Zusammenziehung des Strahls an der Einmündung der Röhre bezieht. Ich habe (§. 31.) erinnert, dafs die Wirkung dieser Zusammenziehung in meinem Multiplicator 0,0238 mit berücksichtigt ist. Sodann weicht der Ausdruck (124.) von dem meinigen durch den Factor $1 - \frac{m^2 \delta^4}{\Delta^5}$ ab. Ich habe diesen Factor in der That in (§. 32.) in der Theorie zugelassen, aber die Erfahrung hat mir gezeigt, dafs er wegbleiben kann. In den meisten Fällen der Ausübung wird das Ergebnifs des Ausdrucks des Herrn ***Poncelet*** von dem des meinigen wenig abweichen.

Später noch, im Jahre 1837, hat Herr ***Combes*** die Theorie der Bewegung der Luft in Röhren auf eine ähnliche Art behandelt, wie Herr ***Navier***; aber doch etwas abweichend. Er behält in seinem Ausdrucke ein auf das Gewicht der Luft in der Röhre sich beziehendes Glied bei, welches Herr ***Poncelet*** wegen seines geringen Einflusses auf die Ergebnisse weggelassen hatte und welches ich absichtlich übergangen habe, weil meine Röhren wenig Gefälle hatten, welches aber in gewissen Fällen beträchtlich sein kann, z. B. bei den Luftreinigungsschachten in den Gruben, oder bei hohen Schornsteinen gewisser Essen. Der Ausdruck, zu welchem Herr ***Combes*** gelangt, ist folgender:

$$125. \quad Q = \sqrt{\left[\frac{4g \cdot \frac{p_0 - p_1}{q_1} \pm h_1}{\frac{1}{\mu_1^2 \delta^2} - \frac{1}{\mu_1^2 \Delta^2} + \frac{1}{\mu^2 \Delta^2} + \frac{2\beta\chi\lambda}{\Delta^3}}\right]}.$$

Es bezeichnet in demselben Q die ausströmende Luftmasse, reducirt auf die Spannung und die Wärme der Atmosphäre, H_1 den Unterschied der Höhen der Ein- und Ausmündung der Röhre, Δ den Querschnitt der Röhre, χ ihren Umfang, a die Fläche der Ausmündung, μ_1 den Zusammenziehungs-Coëfficienten für die Ausmündung, μ denjenigen für walzenförmige Röhren, p_0 den Druck auf die Einmündung, p_1 denjenigen auf die Ausmündung, q_1 das Gewicht eines Cubikmeters Luft von der Spannung p, und β einen durch Versuche zu bestimmenden Factor (die meinigen würden $8\beta = 0{,}0238$ geben). Für walzenförmige Röhren sind μ und μ_1 wenig verschieden, und $\frac{p_0 - p_1}{q_1}$ ist

gleich $\varphi(b+h)-\varphi b=\varphi h$, wo φ das Vielfache des Eigengewichts des Quecksilbers von dem der Luft ist, nemlich $\varphi=10969$ für 2,4215 F. Barometerhöhe und 12 Centigrade Wärme. Dadurch reducirt sich der Ausdruck (125.) auf

$$126. \qquad Q = 2362\sqrt{\left(\frac{(h\mp 0{,}0000915\,h_1)\Delta^5}{\lambda+48{,}6\frac{\Delta^5}{\delta^4}}\right)}.$$

Derjenige, welchen ich in (§. 35.) gegeben habe, ist

$$127. \qquad Q = 2225\sqrt{\left(\frac{h\Delta^5}{\lambda+42\frac{\Delta^5}{\delta^4}}\right)}.$$

[Die beiden Ausdrücke (126. und 127.), da es nur auf einen *Vergleich* ankommt, sind nicht auf Preufsisches Maafs reducirt.]

Dritter Theil.

Derselbe soll sich mit der Wirkung und der Benutzung der Luft als *bewegende Kraft* beschäftigen: mit der Wirkung, insofern die Luft entweder durch den Stofs Bewegung hervorbringt, oder einer Bewegung widersteht: mit der Anwendung rücksichtlich dessen, was Windmühlen betrifft, als die einzigen Maschinen, welche man bis jetzt durch die Luft in Bewegung setzen läfst. Die Wirkung der Luft auf die Segel von Schiffen gehört in die Schiffahrtskunde.

Erster Abschnitt.

Vom Stofs und vom Widerstande der Luft.

Man ist darüber allgemein einig, dafs die Wirkung der Luft beim *Stofse* der beim *Widerstande* gleich sei. Giebt es ja eine Verschiedenheit, so kann sie nur sehr gering sein und nur ein unveränderliches Verhältnifs befolgen. Wir handeln daher überhaupt nur vom *Widerstande* der Luft.

56.

Mittel, den Widerstand der Luft zu messen. Die Versuche und Beobachtungen von *Borda* und *Hutton* haben über den Gegenstand genügende Auskunft gegeben. Ich werde die Versuche im Allgemeinen beschreiben und verweise wegen der Einzelheiten auf „Expériences sur la résistance „des fluides par *Borda*. Mém. de l'acad. de sc. 1763" und „Détermination „de la résistance de l'air;" die 36te Abhandlung der „Tracts on mathematical „and philos. subjects etc." von *Hutton* 1812; ins Französische übersetzt von *Terquem*, unter dem Titel „Nouvelles expériences d'artillerie."

Die Vorrichtung, mit welcher man die Versuche anstellte, war folgende. An einer um zwei Zapfen sich drehenden Welle waren zwei gleich lange Arme befestigt. An dem Ende des einen Arms befestigte man den Körper, dessen Widerstand gegen die Luft man messen wollte. Um die Welle war eine Schnur gewickelt, an deren Ende man der Reihe nach verschiedene Gewichte hängte. Wenn man nun ein Gewicht hinunter sinken liefs, so drehte sich die Welle mit den beiden Armen um, kam aber bald zu einer *gleichbleibenden* Geschwindigkeit, und sobald dies erfolgt war, maafs das Gewicht den Widerstand der Luft gegen den an dem Arm befestigten Körper und gegen die beiden Arme. Den letzteren Widerstand, den man durch einen Versuch besonders gemessen hatte, zog man von dem Gewicht ab, und so gab der Rest den Widerstand der Luft gegen den an dem einen Arm befestigten Körper. Die *Geschwindigkeit* der Bewegung des Körpers gegen die Luft erfuhr man aus der Zahl der Umläufe der Welle.

57.

Gesetze des Widerstandes der Luft. Bei den Geschwindigkeiten gegen die Luft sich bewegender Körper hat man *kleinere* und *gröfsere* zu unterscheiden. Erstere gehen nicht über 32 F. in der Secunde; letztere, z. B. bei Kugeln von Kanonen und Wurfgeschossen, betragen nach *Huttons* Beobachtungen 320 bis 1944 F. in der Secunde.

Bei kleinen Geschwindigkeiten verhalten sich die Widerstände sehr nahe *wie die Quadrate der Geschwindigkeiten.* Als *Borda* an seiner Versuchs-Vorrichtung quadratförmige Tafeln von 0,119 Quadratfufs Fläche befestigt hatte und sie mit Geschwindigkeiten von 6,56 bis 28,26 F. in Bewegung setzte, ergab sich Dies; eben so bei den Versuchen mit Tafeln von 0,263 und 6,0 Q. F. Fläche.

128. Für 1,000, 0,499, 9,247, 0,124, 0,062 Verhältnifszahlen der Quadrate der Geschwindigkeit
waren 1,000, 0,50, 0,25, 0,125, 0,062 diejenigen der Widerstände.

Bei grofsen Geschwindigkeiten verhält es sich anders. Den Versuchen von *Hutton* zufolge kommt in dem Ausdruck derselben, die zweite, die erste und die 0te Potenz der Geschwindigkeit vor. Wenn z. B. V die Geschwindigkeit einer Geschützkugel, d ihr Durchmesser ist, so ist nach *Hutton* der Druck auf die Kugel

129. $$d^2(0{,}00358\,V^2 - 0{,}258\,V + 3{,}29).$$

[Der Herr Verfasser sagt nicht, welches Maafs- und Gewichtssystem hier gemeint sei; also läfst sich die Formel auch nicht reduciren. D. H.]

Wir bemerken, dafs die Geschwindigkeit, mit welcher sich die atmosphärische Luft in einen leeren Raum stürzt, $2\sqrt{(g.25346)}$ (11.) $= 1259$ F. ($= 395$ Meter) beträgt. Sobald also eine Geschützkugel geschwinder als 1259 F. sich bewegt, läfst sie einen *leeren Raum* hinter sich, und folglich ist der Gegendruck dann unveränderlich und der Spannung der Atmosphäre gleich.

[Setzt man in (129.) $V = 395$ Meter, so ergiebt sich für den Widerstand

130. $$d^2(0{,}00358.395^2 - 0{,}258.395 + 3{,}29) = 459{,}94\,d^2.$$

Die Spannung der Atmosphäre auf die Fläche $\frac{1}{4}\pi d^2$, als die Stofsfläche der Kugel, beträgt nach dem Herrn Verfasser, nach (§. 6. und 8.), $\frac{1}{4}\pi d^2 1{,}299.7955 = 8111{,}83\,d^2$ Kilogr. Denn ein Cubikmeter Luft wiegt 1,299 Kilogr. bei 0,76 Met. Barometerstand und 0 Grad Wärme (§. 6.), und die Atmosphäre, wenn sie durchweg so dicht als unten wäre, würde 7955 Met. hoch sein (§. 8.). Die $8111{,}83\,d^2$ stimmen mit den $459{,}94\,d^2$ zu wenig, als dafs in (129.) Meter und Kilogramme gemeint sein könnten. D. H.]

58.

Der Widerstand der Luft, wie der des Wassers, nimmt *stärker* zu, als die Gröfse der *Fläche*, gegen welche er Statt findet.

Von den drei Flächen, mit welchen *Borda* seine Versuche anstellte, verhielt sich

131. $$\begin{cases} \text{Die Gröfse wie} \ldots\ldots\ldots\ldots & 1,\ 2{,}25,\ 5{,}06; \\ \text{Die Widerstände dagegen verhielten sich wie} & 1,\ 2{,}44,\ 5{,}97; \end{cases}$$

also sicher mehr wie die $\frac{11}{10}$ Potenz der Fläche.

Hutton fand Ähnliches; selbst für einander ähnliche Flächen. Gegen zwei Halbkugeln, bei welchen also die widerstehenden Flächen die gröfsten Kreise waren, die sich wie 1 zu 1,80 verhielten, waren die Widerstände in dem Verhältnifs von 1 zu 2,06. Bei andern Versuchen *Huttons* war der Unterschied etwas geringer; aber einen Unterschied gab es immer.

[Bei dieser Art, den Umstand in Rechnung zu bringen, dafs der Widerstand oder Stofs in *stärkerem* Verhältnifs als dem der Gröfse der gestofsenen Fläche zunimmt, kommt es nothwendig auf die Gröfse derjenigen gestofsenen Fläche an, welche man zur *Einheit* annimmt. Denn sonst würde man, wenn man ohne Weiteres $s^{\frac{11}{10}}$ statt s setzte, für *die gleiche* Fläche schon etwas Anderes erhalten, blofs dadurch, dafs man nach einem andern Maafs-Systeme

rechnet. Z. B. wenn in *metrischem* Maafse $s = 1$, nemlich gleich 1 Quadrat-Meter ist, so ist $s^{\frac{11}{10}}$ blofs $= 1$: mifst man dagegen die Fläche z. B. nach Preufsischem Fufsmaafse, so ist für *dieselbe* Fläche $s = 10{,}1519$, und dann ist $s^{\frac{11}{10}} > 10{,}1519$. Es mufs also, um die Zunahme des Widerstandes auf die beabsichtigte Weise in Rechnung zu bringen, wenn σ die Gröfse derjenigen Fläche bezeichnet, welche zur ***Einheit*** angenommen wird, nicht sowohl $s^{\frac{11}{10}}$, sondern $\left(\frac{s}{\sigma}\right)^{\frac{11}{10}} \cdot s$ statt s gesetzt werden; wo nun $\left(\frac{s}{\sigma}\right)^{\frac{11}{10}}$ eine blofse Verhältnifszahl oder ein blofser Zahlenfactor ist, der mit s, für das gleichbleibende σ, sich verändert. D. H.]

Die Wirkung des Stofses der Luft auf eine Fläche wird sehr wahrscheinlich bedeutend verstärkt, wenn man die Fläche mit einem gegen die Luft vortretenden ***Rand*** umgiebt. Eben so, wenn man die gestofsene Fläche etwas ***hohl*** macht. Etwas geblähte Segel treiben ein Schiff schneller fort, als straffgespannte. Indessen darf die Tiefe der Höhlung nicht über den 4ten oder 5ten Theil der Breite betragen.

59.

Ferner verhält sich der Widerstand flüssiger Körper, wie ihre ***Dichtigkeit***.

Da die Dichtigkeit des Wassers beinahe unveränderlich ist, so ist es nicht nöthig, ihre geringe Veränderlichkeit besonders zu berücksichtigen. Die Dichtigkeit kann mit in den unveränderlichen Zahlenfactor begriffen werden. Anders ist es bei der Luft, deren Dichtigkeit mit dem Ort, der Jahreszeit und der Zeit bedeutend sich verändert: nach den Angaben des Barometers und des Thermometers. Die Dichtigkeit verhält sich, wie ihr Eigengewicht. Dieses ist nach (3.) für b F. Barometerhöhe und t Centigrade Wärme:

132. $w = \frac{ab}{\tau b_0}$ (12.) Pfd. der Pr. Cub. F.,

wo $a = 0{,}085708$ Pfd. (2.), $b_0 = 2{,}4215$ F. (1.), $\tau = 1{,}004t$ (4.) ist.

60.

Ausdruck des Widerstandes der Luft gegen ebene Tafeln. Derselbe hat, dem Vorstehenden zufolge, die Gestalt

133. $W = nws^{\frac{11}{10}} \cdot v^2$ Pfd. $= n \cdot \frac{ab}{\tau b_0} \cdot s^{\frac{11}{10}} v^2$ [richtiger $= n \cdot \frac{ab}{\tau b_0} \left(\frac{s}{\sigma}\right)^{\frac{11}{10}} . s . v^2$ D. H.]

für s Quadratfufs Fläche und v F. Geschwindigkeit in der Secunde. n ist eine unveränderliche Zahl.

Um dieselbe zu finden, gehe ich auf die Versuche von ***Borda*** zurück. Er fand, dafs eine Fläche von $s = 0{,}60251$ Quadratfufs, mit $v = 11{,}0338$ F.

Geschwindigkeit fortbewegt, $W = 0{,}16186$ Pfd. Widerstand fand. Der Thermometer zeigte $t = 5$ Grad, so dafs $\tau = 1{,}02$ war, und die Barometerhöhe war $b = 2{,}4128$ F. Dies in (133.) gesetzt, giebt

134. $$n = \frac{W\tau b_0}{abs^{\frac{11}{10}}v^2} = \frac{0{,}16186.1{,}02.2{,}4215}{0{,}085708.2{,}4128.0{,}60251^{\frac{11}{10}}.11{,}0338^2} = 0{,}027725.$$

Die Tafel von 0,2639 Quadratfufs gab $n = 0{,}027302$; die Tafel von 0,1188 Q. F. gab $n = 0{,}027476$, und eine von *Hutton* versuchte Tafel von 0,2096 Q. F. gab $n = 0{,}026729$. Man kann also im Durchschnitt $n = 0{,}027308$ und folglich in (133)

135. $$W = 0{,}027308\frac{ab}{\tau b_0}\cdot s^{\frac{11}{10}}v^2 = 0{,}0023405\frac{b}{\tau b_0}\cdot s^{\frac{11}{10}}\cdot v^2 \text{ Pfd. setzen.}$$

[Oder auch

136. $$W = \frac{ab}{\tau b_0}\cdot s^{\frac{11}{10}}\cdot\frac{v^2}{2{,}344g} \text{ Pfd., wo } g = 15{,}625 \text{ F. ist.}$$

Hier wäre also $\sigma = 0{,}60251$ oder 0,2639, oder 0,1188, oder 0,2096, und es mufs nach der Anmerkung in (§. 58.) noch in (135. und 136.)

136 *a*. $$\left(\frac{s}{\sigma}\right)^{\frac{11}{10}}s \text{ statt } s^{\frac{11}{10}}$$

gesetzt werden. D. H.]

61.

Schiefer Stofs. Wenn eine Fläche gegen die Richtung des Luftstofses *schräg* steht, so ist der Widerstand, welchen sie findet, geringer. *Hutton* setzte, um zu finden, inwiefern der Winkel der schrägen Stellung den Widerstand vermindere, eine rechteckige Tafel von $7\frac{2}{3}$ Zoll lang und $3\frac{5}{6}$ Zoll hoch unter verschiedenen Winkeln, von 0 bis zu 90 Graden, an den Arm seiner kleinen Mühle, und fand, dafs wenn η den Neigungswinkel der Tafel gegen die Richtung der Bewegung bezeichnet, das Verhältnifs, in welchem der Stofs mit η abnimmt, hinreichend genau durch $\sin\eta^{1{,}84\cos\eta}$ ausgedrückt wird; so dafs also der *allgemeine* Ausdruck des Stofses zufolge (135. und 136.) folgender ist:

137. $$W = 0{,}027308\frac{ab}{\tau b_0}\cdot s^{\frac{11}{10}}\cdot v^2\cdot\sin\eta^{1{,}84\cos\eta}$$
$$= 0{,}0023405\cdot\frac{b}{\tau b_0}\cdot s^{\frac{11}{10}}\cdot v^2\cdot\sin\eta^{1{,}84\cos\eta} = \frac{ab}{\tau b_0}\cdot s^{\frac{11}{10}}\cdot\frac{v^2}{2{,}44g}\cdot\sin\eta^{1{,}84\cos\eta};$$

wo v die Geschwindigkeit bezeichnet, mit welcher sich entweder der Körper in ruhender Luft bewegt, oder, falls er selbst ruht, von bewegter Luft gestofsen wird. Bewegen sich beide: der Körper mit der Geschwindigkeit v,

die Luft mit der Geschwindigkeit u, so mufs man $v \mp u$ statt v setzen. [Mit Rücksicht auf die Anmerkung in (§. 58.). D. H.]

62.

Widerstand, welchen Körper von verschiedener Gestalt finden. Obgleich der obige Ausdruck des Stofses sich blofs auf *dünne Tafeln* bezieht, gegen welche die Luft stöfst, so kann man ihn doch auch für beliebige Körper gelten lassen, welche eine der Tafel gleiche ebene Fläche der Luft entgegensetzen. Der Widerstand ist dann aber um einige Hundertel geringer anzuschlagen.

Indessen gilt der Ausdruck nicht für Körper, die dem Stofse eine im Winkel, oder sonst hervortretende Fläche entgegenstellen. ***Borda*** und ***Hutton*** haben das Maafs des Stofses auf dreieckige Prismen mit zwei gleichen und gleich schrägen Seitenflächen, auf Kegel, halbe Walzen und halbe Kugeln auszumitteln gesucht. Sie liefsen diese verschiedenen Körper erst ihre *ebenen* Flächen dem Stofse entgegenstellen und nahmen den Stofs auf dieselben zur Einheit an. Hierauf kehrten sie die Körper um und liefsen auf deren *hervortretende* Flächen, nemlich auf die schrägen Seitenflächen des Prisma, auf die Spitze und den Mantel des Kegels und auf die krumme Fläche der halben Walze und der halben Kugel die Luft stofsen. Das Ergebnifs zeigt die hier folgende Zusammenstellung. In derselben ist neben Dem, was sich durch die *Versuche* fand, der Betrag des Stofses nach der alten ***Rechnung*** angegeben, bei welcher man den Stofs dem Quadrate des Sinus des Einfallswinkels proportional setzte und bei krummen Flächen das Integral des ähnlich geschätzten Stofses auf die verschiedenen Elemente nahm (§. 267. Buch 1.). Die vor die Zeilen gesetzten Anfangsbuchstaben von „***Borda***" und „***Hutton***" zeigen an, wer von ihnen den Versuch anstellte.

138.

	Gestalt der Körper.	Verhältnifszahl k: Nach den Versuchen.	Verhältnifszahl k: Nach der alten Theorie.
B.	Prismen mit einem rechten Winkel . .	0,728 . .	0,50
B.	Prisma mit einem Winkel von 60 Graden .	0,520 . .	0,25
B.	Kegel mit einem Winkel von 90 Graden .	0,691 . .	0,50
B.	Kegel mit einem Winkel von 60 Graden .	0,543 . .	0,25
H.	Kegel mit einem Winkel von 51 Gr. 22 M. .	0,433 . .	0,19
B.	Halbe Walze.	0,570 . .	0,67
B.	Halbe und ganze Kugel	0,410 . .	0,50
H.	Halbe Kugel	0,413 . .	0,50

Der Stofs auf einen jener Körper würde also zufolge (135. und 136.) nahe genug durch

$$139. \quad W = 0{,}027308 \frac{ab}{\tau b_0} \cdot s_1^{\frac{11}{10}} \cdot v^2 k = 0{,}0023405 \cdot \frac{b}{\tau b_0} \cdot s_1^{\frac{11}{10}} \cdot v^2 k$$

$$= \frac{ab}{\tau b_0} \cdot s_1^{\frac{11}{10}} \cdot \frac{v^2}{2{,}344 g} k$$

ausgedrückt werden; wo k der in (138.) angegebene Coëfficient ist und s_1 die Projection der gestofsenen Fläche auf eine gegen die Richtung der Bewegung senkrechte Ebene bezeichnet. [Mit Rücksicht auf die Anmerkung in §. 58.]

63.

Beispiele. I. Welches ist der Stofs, senkrecht auf eine Ebene von 1 Quadratfufs grofs, für eine Geschwindigkeit von $25\frac{1}{2}$ F.? Und zwar für den gewöhnlichen Zustand der Atmosphäre in Frankreich, für welchen die Barometerhöhe 28,86 Zoll und die Temperatur 12 Centigrade beträgt. Nach der obigen Formel (135.) gerechnet, findet sich $W = 1{,}82$ Pfund.

Folgendes ist der Stofs auf 1 Q. F. einer senkrecht auf die Richtung der Bewegung stehenden Fläche, für verschiedene Geschwindigkeiten der Luftströmungen, diese mit den bei der Schiffahrt gebräuchlichen Namen bezeichnet:

140.

	Geschwindigkeit in der Secunde Fufs	Geschwindigkeit in der Stunde Ruthen	Stofs auf 1 Q. F. Pfd.
Schwacher Wind	$6\frac{1}{3}$	1860	0,1135
Frischer Wind oder Brise, der die Segel gut füllt	19	5840	1,023
Der vortheilhafteste Wind für Windmühlen	$22\frac{1}{3}$	6637	1,396
Gute Brise auf dem Meere	$28\frac{2}{3}$	8496	2,306
Starke Brise, bei welcher die obern Segel gerefft werden müssen,	$38\frac{1}{4}$	11416	4,099
Sehr starker Wind	48	14337	6,405
Ungestümer Wind	$63\frac{3}{4}$	19116	11,385

Es kommen Orcane vor, deren Geschwindigkeit bis auf 127 und 143 F. in der Secunde steigt, und die dann stark genug sind, um Häuser umzuwerfen.

Vielleicht wünscht man zu wissen, in welchem Verhältnifs die Geschwindigkeit der Luftströmungen zu der der Schiffe steht, welche durch sie auf offenem

Meere fortgetrieben werden. Ich kann nur, und zwar ohne hinreichende Einzelheiten angeben, dafs die Geschwindigkeit eines Schiffs als grofs betrachtet wird, wenn es 10 Knoten in der Stunde macht oder $16\frac{1}{3}$ F. in der Secunde zurücklegt, und als sehr grofs, wenn es 12 Knoten macht oder $19\frac{2}{3}$ F. in der Secunde durchläuft.

II. Welchen Stofs übt ein sehr starker Wind von etwa 32 F. Geschwindigkeit in der Secunde gegen einen Flügel oder eine ebene Fläche von 32 F. lang und 6,37 F. breit aus, die mit der Richtung des Windes einen Winkel von 70 Graden macht? Nach der Formel (139.) und in den Voraussetzungen in (I.) gerechnet, findet sich $W = 749$ Pfd.

III. Es wird eine Kugel von 2,29 Zoll im Durchmesser mit 20,7 F. Geschwindigkeit in einen, ihr grade entgegen, mit 7,9 F. Geschwindigkeit sich bewegenden Luftstrom geschleudert: Welchen Widerstand wird die Kugel finden, wenn Barometerstand und Temperatur so sind wie in (II.)? Die relative Geschwindigkeit ist hier $20{,}7 + 7{,}9$ und 28,6 F. und nach (139.), so wie nach (138.) mit $k = 0{,}41$ gerechnet, findet sich $W = 0{,}0026$ Pfd.

Zweiter Abschnitt.

Von den Windmühlen.

64.

Die Mühlenflügel. Von den verschiedenen Theilen einer Windmühle kommen hier nur diejenigen in Betracht, welche die Kraft des Windes auffangen. Es sind folgende.

Erstlich. Die ***Ruthenwelle,*** bestehend aus einem starken Holze von 19 bis 23 Zoll in rechteckigem Querschnitt. Sie liegt im Dache der Mühle und man dreht und stellt dieselbe so, dafs die Welle immer die Richtung des Windes hat. Aufserdem legt man die Welle auf 10 bis 15 Grad gegen die wagerechte Richtung geneigt.

Zweitens. Die ***Ruthen,*** von 77 F. lang und 11 bis 12 Zoll stark. Sie kreuzen sich im Kopf der Welle, so dafs 4 Arme entstehen, und machen das Schwunggewicht aus.

Drittens. Etwa $6\frac{1}{2}$ F. von der Axe der Welle entfernt, ist, senkrecht durch jeden der 4 Ruthen-Arme, eine erste $6\frac{1}{2}$ F. lange ***Latte*** gesteckt; aber so, dafs sie mit der durch die Ruthen-Arme gehenden Ebene, welche wir ***Dreh-Ebene*** nennen wollen, einen Winkel von etwa 30 Graden macht. Ferner

sind durch die Ruthen, von 15 zu 15 Zoll, andere dergleichen Latten gesteckt, aber unter immer kleineren Winkeln gegen die Dreh-Ebene, so dafs die Latten an dem Ende der 4 Ruthen nur einen Winkel von 12 bis 6 Graden machen, je nachdem die Ruthenwelle steiler oder flacher gegen den Horizont liegt. Die Enden der Latten, zu beiden Seiten der Ruthen, stecken in längsauslaufenden Seitenlatten; und alles Dies zusammen bildet die *Windflugel* der Mühle.

Viertens. Ist über dies Lattennetz Leinwand gespannt, welche als *Segel* dient, die den Wind auffangen.

Diese Anordnung und die oben angegebenen Maafse haben ungefähr die *Holländischen* Mühlen, welche man für zweckmäfsig gebaut erachtet. Die Segel über dem Lattennetz, auch wohl noch eine kleine Krümmung der Ruthen, setzen dem Winde eine etwas *hohle* Fläche entgegen, welche, wie oben bemerkt, die Wirkung verstärkt.

65.

Von der vortheilhaftesten Form der Windmühlenflügel. Die Mathematiker haben sich viel damit beschäftigt, diese Form zu finden, oder, nach dem technischen Ausdruck: zu finden, wie die Flügel am besten zu *luften* sind.

Parent, welcher sich zunächst mit dieser Frage beschäftigte, so wie fast mit allen Anderem, was Maschinen betrifft, die von flüssigen Körpern in Bewegung gesetzt werden, setzte die Flügel als ganz *eben* voraus, und meinte, ihre Ebene müsse mit der Richtung des Windes einen Winkel von 54 Gr. und 44 Min., also mit der Dreh-Ebene einen Winkel von 35 Gr. und 16 Min. machen. Er nahm an, dafs sich die Kraft des Windes wie das Quadrat des Sinus des Einfallswinkels verhalte, also wie $\sin\eta^2$, wenn man den Einfallswinkel durch η bezeichnet. Dies giebt für die Kraft in der Richtung der Bewegung den Factor $\sin\eta^2\cos\eta$; und wenn man, um nun η für die *möglichgröfste* Kraft zu finden, das erste Differential dieses Factors gleich Null setzt, so ergiebt sich $\text{tang}\,\eta = \sqrt{2}$ und $\eta = 54$ Gr. 44 Min.

Unter *Parents* Voraussetzung ist dieser Winkel wirklich derjenige, welcher die möglich-gröfste Kraft giebt, wenn der Flügel *ruht;* aber er ist es nicht mehr, wenn er sich *bewegt.* *Bernoulli* zeigte, dafs dieser Winkel um so gröfser, also der Winkel zwischen der Flügel-Ebene und der Dreh-Ebene um so kleiner sein müsse, je mehr die Geschwindigkeit der Bewegung zunimmt. Sodann bemerkte *Maclaurin,* dafs, da die verschiedenen Stellen des Flügels um so schneller sich bewegen, je weiter sie von der Dreh-Axe

entfernt sind, jener Winkel auch eben so abnehmen müsse, und er berechnete die Neigung der verschiedenen Stellen des Flügels gegen die Dreh-Ebene für die möglich-gröfste Wirkung.

Euler beschäftigte sich zu zwei verschiedenen Malen mit der Theorie der Windmühlen. Für die Voraussetzung, dafs die Flügelfläche eine *Ebene* sei, fand er, dafs sich die Wirkung wie die dritte Potenz der Geschwindigkeit des Windes und wie die dritte Potenz des Sinus des Einfallswinkels verhalte. Für den Fall, wo die Neigung der Flügelfläche gegen die Dreh-Ebene mit der Entfernung von der Axe abnimmt, fand er für die vortheilhafteste Neigung Dasselbe wie *Maclaurin;* aber er gelangte zu keinem End-Ausdruck der Wirkung.

Endlich ist auch *Cariolis* auf diese Aufgabe gekommen. Er fand den Ausdruck

$$143. \qquad \cot\zeta = \frac{3wx}{2v} + \sqrt{\left(2 + \left(\frac{3wx}{2v}\right)^2\right)},$$

in welchem ζ den Winkel der Neigung des Flügels gegen die Dreh-Ebene, w die Winkelgeschwindigkeit des Flügels, x den Abstand des Angriffpuncts von der Dreh-Axe und v die Geschwindigkeit des Windes bezeichnet. Er suchte sodann nach diesem Ausdruck die möglich-gröfste Wirkung und gab dazu die Differentialgleichung nebst der Art ihrer Anwendung an. Seine Schrift „Sur le calcul de l'effet des machines. S. 210 bis 230", auf welche ich verweise, enthält über den Gegenstand interessante Bemerkungen.

66.

Es hatte indessen noch die *Erfahrung* über die Frage zu *entscheiden*. *Smeaton* stellte über den Gegenstand, mit vieler Einsicht und nicht ohne einigen Erfolg, Versuche an. Man sehe die Schrift: „De la construction et des effets „des moulins à vent." Sie macht einen Theil der „Recherches expérimentales „sur l'eau et le vent" aus, welche von *Girard* aus dem Englischen übersetzt und mit einer Einleitung begleitet worden sind.

Smeaton bediente sich einer kleinen Mühle, deren vier Flügel jeder $17\frac{1}{2}$ Zoll lang und $5\frac{1}{3}$ Zoll breit waren. Er brachte diese Flügel an das Ende einer 62 Zoll langen, wagerecht liegenden Welle an, deren anderes Ende in eine um ihre Axe bewegliche senkrechte Welle eingesetzt war [implantée]. Wenn man nun die senkrechte Walze umdrehte, so wurden die Flügel um die Axe dieser Walze fortgetrieben und stiefsen die Luft mit einer Geschwindigkeit, welche diejenige des Windes vertrat, der die Windmühlenflügel trifft. Vermöge

dieses Stofses drehten sich auch die Flügel um *ihre* Welle und es wurde vermittels eines um die Welle geschlungenen Seils ein Gewicht gehoben, welches nun das Maafs der Wirkung gab. [Die Flügelwelle, sammt den Flügeln, wurde also, wie es scheint, vermittels der Umdrehung der stehenden Welle um deren Axe umhergeschwungen, und die den Flügeln widerstehende Luft trieb sie um die Flügelwelle, welche in der stehenden Welle sich drehen konnte. D. H.]

Smeaton suchte zunächst die beste Form der Flügel und machte für eine Geschwindigkeit des Luftstroms von $5\frac{3}{4}$ F. verschiedene Versuche; z. B. folgende:

a. Er nahm zuerst *ebene* Flügel, nach *Parents* Vorschrift unter 35 Gr. Neigungswinkel angesetzt. Es wurden, aufser der Reibung, 7,32 Pfd. in der Minute 2,214 F. hoch gehoben; was also ein Moment von . . . 16,206 giebt.

b. Von den verschiedenen Neigungswinkeln der ebenen Flügel gab der von 15 Grad das gröfste Moment, nemlich . . . . . 23,7.

c. Gab man den verschiedenen Stellen der Flügel die von *Maclaurin* vorgeschriebene Neigung von 32 bis zu 15 Grad, so war das Moment . . . . . 26,9.

d. Formte man endlich die Flügel nach der holländischen Art, nemlich so, dafs die Segel gegen den Wind etwas hohl waren, so fand das gröfste Moment für Winkel Statt, die von $7\frac{1}{2}$ bis $32\frac{1}{2}$ Grad zunahmen, und war . . . . . 32,6.

e. Vergröfserte man die Flügel um Einviertel, durch einen dreieckigen Ansatz, so war das Moment . . . . . 41,9.

In Folge dieser Versuche mit der kleinen Mühle, so wie anderer an grofsen Mühlen, schreibt *Smeaton,* um für eine gewöhnliche Geschwindigkeit des Windes eine gute Wirkung zu erzielen, Folgendes vor. Man theile die Flügelruthe in 6 gleiche Theile. Im ersten Theilpunct, zunächst der Umdrehungs-Axe der Ruthenwelle, setze man die erste Latte unter einem Winkel von 18 Grad gegen die Dreh-Ebene ein; die zweite Latte, im zweiten Theilungspunct, unter 19 Grad; die dritte (in der Mitte der Länge der Ruthe) wieder unter 18 Gr.; die vierte wieder unter 16 Gr.; die fünfte unter $12\frac{1}{2}$ Gr. und die sechste, am Ende der Ruthe, nur unter 7 Gr. Auch erachtet es *Smeaton* für vortheilhaft, die Flügel an ihren äufsern Enden *breiter* zu machen: in Gestalt eines Trapezes, dessen beide parallele Seiten sich wie

5 zu 3 verhalten. Die gröfsere Seite am Ende der Ruthen soll Eindrittheil der Länge der Ruthen bekommen.

67.

Gesetze der Bewegung. *Smeaton* schliefst aus noch mehreren andern Versuchen, die er für Geschwindigkeiten des Windes von $4\frac{1}{4}$ bis $8\frac{1}{2}$ F. angestellt hat, Folgendes.

Erstlich. Wenn die Flügel die vortheilhafteste Gestalt haben und gar keine Last heben, so ist die Geschwindigkeit ihrer Enden 4mal so grofs, als die des Windes.

Zweitens. Wenn man den Flügeln die vortheilhafteste Last zu heben giebt, so ist die Geschwindigkeit ihrer Enden nur 2,7mal so grofs als die des Windes; nach *Coulomb,* bei den Mühlen in Flandern, nur 2,5mal so grofs.

Drittens. Für die vortheilhafteste Last bleibt also die Geschwindigkeit der Flügel immer in demselben Verhältnifs zur Geschwindigkeit des Windes.

Viertens. Die vortheilhafteste Last steigt ungefähr im Verhältnifs des Quadrats der Geschwindigkeit des Windes. Für die doppelte Geschwindigkeit des Windes war sie $3\frac{3}{4}$mal so grofs.

Fünftens. Da nun die *Wirkung* das Product der Last in die Geschwindigkeit ist, so folgt, dafs sie im Verhältnifs der 3ten Potenz der Geschwindigkeit des Windes zunimmt. Nach den Versuchen war die Wirkung für die doppelte Geschwindigkeit 7,02mal so grofs. *Euler* kam, wie oben bemerkt, auf das Nemliche; aber nach den in Holland angestellten Versuchen ist dieses Verhältnifs etwas zu stark.

Übrigens setzte *Smeaton,* eben wie *Euler* und die andern Schriftsteller, die Wirkung im Verhältnifs der Gröfse der Flügelfläche s. Genauer ist es, wie wir oben sahen, sie in dem Verhältnifs von $s^{\frac{11}{10}}$ anzunehmen. [Mit Rücksicht auf die Bemerkung in §. 58.]

68.

Nutzwirkung. Wenn man von dem Obigen ausgeht und eine vortheilhafte Form der Flügel voraussetzt, so läfst sich die Nutzwirkung einer Windmühle durch

$$144. \quad w = nsv^3$$

ausdrücken; wo s die Fläche der vier Flügel, v die Geschwindigkeit des Windes und n ein unveränderlicher Coëfficient ist, für eine mittlere Dichtigkeit der Luft.

Dieser Coëfficient mufs aus Versuchen entnommen werden. *Smeaton* berichtet von einem solchen Versuch. Es war bei demselben $s = 2{,}64$ Q. F., $v = 8{,}5$ F., und ein Gewicht von 17 Pfd. wurde in 1 Secunde 0,0988 F. hoch gehoben. Also war hier die Nutzwirkung, in Pr. Fufsen und Pfunden ausgedrückt, $w = 17 . 0{,}0988 = 1{,}6796 = n . 2{,}64 . (8{,}5)^3$, woraus $n = \frac{1{,}6796}{2{,}64 . 614{,}125} = 0{,}00103$ folgt, so dafs also in (144.)

145. $$w = 0{,}00103\, sv^3$$

wäre. Aus dem in (§. 66. unter *d.*) gedachten Versuch, wo durch eine Geschwindigkeit des Windes von $5\frac{3}{4}$ F., in der Minute ein Moment von 32,6 erlangt wurde, würde ungefähr der nemliche Werth von n folgen.

69.

Aber eine Schätzung, die auf Versuche mit sehr kleinen Windflügeln beruht, welche zudem von dem Winde auf eine *andere* Weise als die Flügel wirklicher Mühlen in Bewegung gesetzt wurden, läfst sich nicht mit Sicherheit auf wirkliche Mühlen anwenden, deren Wirkung wohl zwei-, drei- bis viertausend mal so grofs ist, als die der kleinen Flügel bei dem Versuch. Es ist wenigstens eine Prüfung des Ergebnisses an wirklichen Mühlen nothwendig. Zu einer solchen Prüfung dienen die Versuche, welche *Coulomb,* mit allen dem Scharfsinn und der Genauigkeit angestellt hat, die den Arbeiten dieses geschickten Physikers eigen sind. Er hat sie in den Abhandlungen der Akademie von 1781 unter dem Titel „Observations sur l'effet des moulins à vent" beschrieben.

In der Umgend von *Lille* giebt es nemlich eine Menge holländischer Mühlen, von dem oben in (§. 64.) angegebenen Maafse der Flügel. Daraus, dafs an denselben, wie *Coulomb* bemerkte, einige Veränderungen an ihren Flügeln keine merklichen Abweichungen in der Wirkung hervorbrachten, schlofs er, dafs ihre Anordnung so ziemlich die möglich-vortheilhafteste sein müsse. Mehrere dieser Mühlen dienen zum Ausstampfen des Öls aus Rübsamen. Eine Welle hebt zu dem Ende Stampfen durch Daumen in die Höhe. Bei einem der Versuche war die Geschwindigkeit des Windes 20,7 F. und es wurden 6 Stampfen, zusammen 5850 Pfd. schwer, jeder 26 mal in 1 Minute 1,5523 F. hoch gehoben. Die Nutzwirkung in 1 Secunde war also 3935
Dazu für die Reibung, nach einem besonderen Versuche, ... 333
Und für den Verlust an lebendiger Kraft durch den Stofs der Daumen gegen die Hebelatten der Stampfen, berechnet auf 297
Thut zusammen die Wirkung 4565.

Die Fläche der Flügel war 823 Q. F. Also wäre nach (142.) $w = 4565 = n.823.(20{,}7)^3$, woraus $n = 0{,}000625$, also, statt (143.),

$$146. \quad w = 0{,}000625.sv^3$$

folgt.

Dies wäre also *weniger*, als sich in (143.) nach den Versuchen von *Smeaton* fand. Etwa nur Dreifünftel davon. Obgleich ich an der Genauigkeit der Versuche des englischen Ingenieurs nicht zweifle, so glaube ich doch, dafs dem Ergebnifs der *Coulomb*schen Versuche mehr zu vertrauen sei, weil sie an wirklichen, grofsen Mühlen angestellt sind; und zwar um so mehr, da sich aus ihnen eine *geringere* Wirkung ergiebt, als nach *Smeaton*, und man bei der Schätzung der Wirkung von Maschinen immer sicherer geht, wenn man sie eher zu gering als zu hoch ansetzt. Wir bleiben daher bei dem Ausdrucke (146.) stehen.

Übrigens kann dieser Ausdruck immer nur als eine *ungefähre Schätzung* betrachtet werden, weil es, nach Dem was oben bemerkt, noch zweifelhaft ist, ob die Wirkung grade in dem Verhältnifs der Gröfse der Flügel und der dritten Potenz der Geschwindigkeit des Windes zunimmt.

Der Ausdruck (144.) ist dem für *Schiffwassermühlen* ähnlich, für welche wir oben $0{,}402sv^3$ setzten (§. 333. Buch 1.). In beiden Fällen bewegen sich die gestofsenen Flächen in einer nicht begrenzten Flüssigkeit. Also müfste man, da die Luft 800mal so leicht ist als Wasser, die vorstehenden $0{,}402sv^3$ mit 800 dividiren, welches $w = 0{,}0005.sv^3$ geben würde; also wiederum weniger, als die *Coulomb*schen Versuche.

[Wenn man, ungefähr wie es der Herr Verfasser im nächstfolgenden Paragraph thut, eine *Pferdekraft*, nach Preufs. Maafs und Gewicht, $\varepsilon = 500$ setzt, nemlich annimmt, dafs die Zugkraft eines Pferdes, im Frachtschritt von $3\frac{1}{3}$ F. in der Secunde, 150 Pfd. beträgt, so giebt die Formel (144.)

$$147. \quad w_\varepsilon = \frac{0{,}000625}{500} s \cdot v^3 = \frac{sv^3}{800\,000},$$

für die Zahl der *Pferdekräfte* einer Windmühle mit s Quadratfufs Flügelfläche bei v F. Geschwindigkeit des Windes in 1 Secnnde.

Diesemnach würde die Kraft einer Windmühle, z. B. mit 800 Q. F. Flügelfläche,

148. Für 10, 20, 30, 40, 50, 60 F. Geschwindigkeit des Windes.
$v_2 =$ 1, 8, 27, 64, 125, 216 Pferdekräfte betragen.]

Mahlkraft der Windmühlen. Wir haben angenommen, dafs, um in 1 Secunde 1,82 Preufs. Scheffel (Hectolitre) Getreide zu mahlen, die Mühle mindestens zwei Pferdekräfte von 510 auf die Secunde haben müsse. Obgleich die oben angegebene Nutzwirkung an der Welle gemessen ist und bis zu dem Mühlsteine sich noch um etwas vermindert, so kann man sie doch wie oben setzen. Da also 1 Pferdekraft in der Secunde 0,91 Scheffel mahlt, so mahlt die obige Mühle mit ihren $w_e = \frac{sv^3}{800\,000}$ Pferdekräften

$$149. \quad \gamma = \frac{0{,}91 . sv^3}{800\,000} \text{ Scheffel Getreide in der Stunde.}$$

[Also z. B. mit 800 Q. F. Flügelfläche nach (148.)

$$150. \quad \begin{cases} \text{Für} & 10, & 20, & 30, & 40, & 50, & 60 \text{ F. Geschwindigkeit des Windes} \\ \gamma = & 0{,}91, & 7{,}28, & 24{,}57, & 58{,}24, & 113{,}75, & 196{,}56 \text{ Scheffel Getreide in der Stunde.} \end{cases}$$

Coulomb berichtet, dafs die Flandrischen Mühlen, mit 18,64 F. Geschwindigkeit des Windes, $9\frac{1}{2}$ bis $10\frac{1}{2}$ Scheffel Getreide in der Stunde mahlen. Diese Wirkung, welche eine sehr starke zu sein scheint, würde statt (147.),

$$151. \quad \gamma = \frac{1{,}547 . sv^3}{800\,000}$$

geben.

[Man sieht wohl, dafs, ungeachtet der schätzbaren, sorgfältigen und scharfsinnigen Bemühungen, die hier der Herr Verfasser zu denen seiner Vorgänger gefügt hat, um die Gesetze der Bewegung der Luft in ihrer Wirkung näher zu erforschen: eben wie beim Wasser, auch hier bei der Luft, und hier noch viel mehr, vor allem noch *recht viele* Versuche *im Grofsen* nöthig sind, um die Formeln fester zu begründen; wenn auch nur erst Versuche von der Art wie z. B. *Coulomb* nach (§. 69.), nicht an Modellen, sondern an wirklichen grofsen Mühlen sie anstellte. Denn Formeln, welche blofs Versuchen *im Kleinen* genugthun, sind offenbar immer noch sehr unsicher. Nur der Schlufs vom Grofsen auf das Kleine mag eher zuläfslich sein; nicht umgekehrt. Auch dürfte es nicht hinreichen, blofs die unveränderlichen Coëfficienten der Formeln nach Versuchen festzustellen, sondern es dürfte auch nöthig sein; die *Form* der Ausdrücke, oder Das was davon noch mehr auf *Schlüssen*

beruht, an Versuchen, und zwar im Grofsen, zu prüfen; denn ohne Das ist auch Dies zweifelhaft, kann aber noch viel stärkere Abweichungen der Ergebnisse von der Wirklichkeit zur Folge haben, als die Coëfficienten. So z. B. möchte es wohl gar sehr zweifelhaft sein, ob wirklich, auch im Grofsen, der Stofs der Luft mit der Geschwindigkeit des Luftstroms so ungemein stark, wie nach der *dritten* Potenz der Geschwindigkeit, zunehme.

Der Gegenstand der Aërodynamik ist ungemein wichtig; denn, ohne der Benutzung der Spannkraft der Luft auf Eisenbahnen und anderer Anwendungen dieser Kraft zu gedenken, erwäge man nur allein die Kraft der natürlichen Luftströmungen (der Winde und selbst Stürme), die jetzt unstreitig erst sehr unvollkommen benutzt wird, während sie doch in wörtlichem Sinne, an sich *unermefslich* ist; also mehr beträgt, als die Kraft aller Dampfmaschinen, so viel ihrer auch sein mögen; während sie von der Natur durchaus *unentgeltlich* geliefert wird und auch unzweifelhaft durch alle künftigen Zeiten ungeschwächt *dieselbe* bleiben wird: anders wie die Dampfkraft, die möglicherweise allmälig, so wie der Brennstoff abnimmt, ebenfalls abnehmen, oder doch immer theurer werden kann. Zwar ist die Kraft der Luftströmungen nur sehr *ungleich* und nur mit gänzlichen Unterbrechungen da, aber sie erscheint überall doch immer noch häufig genug, und sobald sie da ist, ist sie unbegrenzt; denn es kommt nur darauf an, sie in so weitem Maafse, als man will, aufzufangen. Wenn man nemlich ihr Maafs erst mit mehr Sicherheit wird beurtheilen können, wird sich wahrscheinlich auch ergeben, dafs auch *horizontale* Windflügel eine Wirkung haben können, die die Zinsen ihrer Kosten lohnt. Denn obgleich solche Flügel allerdings weniger kräftig sind, als die gewöhnlichen schrägen Flügel, schon weil ihre Fläche wohl immer nur viel kleiner sein kann, so haben sie doch auch vor diesen den grofsen Vorzug, dafs sie nicht nach der Richtung des Windes zu *stellen* nöthig sind und dafs sie überall, selbst mitten in der gröfsten Stadt, ohne Bedenken auf dem Dach jedes Hauses angebracht werden können und dafs also aus ihnen unzählige Gewerbe die ihnen nöthige bewegende Kraft wenigstens theilweise ziehen können.

Auch kommen noch Fragen bei der Bewegung und Spannkraft der Luft vor, die sich mit Dem, was man jetzt davon weifs, durchaus *gar nicht* beantworten lassen. So z. B. kommt bekanntlich (wieder bei den Mühlen) in der Wirklichkeit sehr häufig die Frage vor, inwiefern ein in der Nähe einer Mühle befindliche Gegenstand, hohe Gebäude, ein Wald, eine Anhöhe u. s. w. der Mühle die Kraft des Windes entziehen, oder schwächen. Wenn man

aufrichtig sein will, mufs man eingestehen, dafs sich zur Antwort auf diese Frage auch nicht das geringste Sichere sagen lasse. Sogar die blofse Theorie, mit allen ihren Hypothesen, würde hier in Verlegenheit kommen.

Auch mit der Ballistik, rücksichtlich des Widerstandes der Luft gegen die Geschosse, und in Bezug auf die Wirkung der ausdehnenden Kraft der Gase aus dem entzündeten Pulver, wird man nicht eher ins Reine kommen, bis die Gesetze dieser Wirkungen durch Beobachtungen noch näher erforscht sind.

Es bleibt daher für die Aërodynamik noch gar Vieles zu thun übrig; und an Wichtigkeit giebt der Gegenstand der Hydraulik, oder der Kenntnifs von der Bewegung des Wassers, kaum etwas nach. Aber nur allein Versuche, und zwar durchaus *im Grofsen*, können zum Ziele führen; denn alle und jede Theorie ist hier unsicher; und Voraussetzungen, welche nicht durch die Erfahrung gerechtfertigt sind, können nicht blofs auf geringe, sondern auf die allerbeträchtlichsten Abweichungen von der Wahrheit führen. Von solchen Versuchen im Grofsen, wie wir deren bei den *D'Aubuisson*schen Lehren von der Bewegung des Wassers in Röhren näher gedacht haben, übersteigen aber die *Kosten* bei weitem die Kräfte einzelner Freunde der Wissenschaften. Es wäre also gar sehr zu wünschen, dafs hier öffentliche Geldmittel wenigstens zu Hülfte kämen, und es wäre Dies, wegen der Bedeutenheit des zu erwartenden Nutzens, der gegenwärtigen Zeit, die sich die des Fortschritts nennt, würdig. Die Versuche anzustellen und zu leiten, wäre eine angemessene Aufgabe für technische und polytechnische Schulen, mit Zuziehung von Mathematikern aus den Universitäten und Akademieen. D. H.

Berlin im Februar 1849.]

7.

Über Leuchtthürme.

(Nach englischen, französischen und deutschen Quellen bearbeitet vom Herrn Ingenieur *A. Hefs* zu Göttingen.)

(Fortsetzung der Abhandlung No. 4. im ersten und No. 5. im zweiten Hefte.)

Der Leuchtthurm auf dem Edystone.

Durch die eigenthümliche Lage des *Edystone*-Felsens, drei Meilen von *Plymouth*, in der Nähe von *Ram-Head*, werden die von Südwesten andringenden Fluthströme aufgehalten und zerspalten. Der Andrang der Wogen ist daher sehr stark, und oft wird das Wasser, selbst bei ruhiger Luft, 30 bis 40 F. in die Höhe und auf die Plateform des Felsens geschleudert. Die Brandung wird noch dadurch verstärkt, dafs der Felsen an der stark ausgesetzten Seite eine Höhlung hat, in welche die Wellen geschleudert werden und dann hochaufspritzend zerschellen. Dieser Umstände wegen und da die Fluth die Arbeitszeit auf die Hälfte reducirt, so wie wegen des felsigen, zum Ankern fast untauglichen Grundes in der Nähe, sind die Schwierigkeiten des Baues auf dem *Edystone*-Felsen grofs.

Winstanley wagte es im Jahre 1696 zuerst, einen Leuchtthurm aus Holz und Stein, dessen Grundrifs ein Vieleck war, auf dem *Edystone* zu errichten. Bis 1703 hielt sich dieses Bauwerk; im November 1703 aber wurde es durch einen heftigen Sturm gänzlich zerstört, so dafs Baustoffe und Bewohner, unter welchen sich auch zufällig der Baumeister selbst befand, spurlos verschwanden.

Einige Jahre später begann *Rudyerd* den Bau eines neuen Thurms, von passenderer Form. Die Löcher für die in den abgetreppten Felsen einzulassenden Eisen machte man, damit das Herausziehen der Eisen unmöglich sei, schwalbenschwanzförmig, trocknete sie aus und gofs sie voll Talg. Die danach geschmiedeten Eisen wurden dann erhitzt, in die Löcher hineingestofsen und die Schlufskeile festgetrieben. Darauf gofs man in die noch mit Talg angefüllten Räume eine Mischung von Blei und Zinn. So wurde jede Feuchtigkeit von dem Metalle ferngehalten, und der Erfolg entsprach auch den Erwartungen: denn als nach einem halben Jahrhundert einige Eisen heraus-

gehauen wurden, fand man sie ganz unversehert. Diese Schienen verbanden nun die untern Balkenlagen, so wie den die Axe des Gebäudes bildenden sogenannten Mast, mit dem Felsen. Um das hölzerne Fundament stärker zusammenzupressen und dadurch seinen Widerstand zu vergröfsern, legte *Rudyerd* über dasselbe fünf Steinlagen, welche durch Klammern horizontal mit einander und durch Bolzen vertical mit den darüber- und darunterliegenden Hölzern verbunden wurden. Diese Abwechslung von Stein- und Holzlagen ging, während die Stärke der Steinlagen abnahm, bis zu dem ersten Boden, welcher 32 F. hoch über dem Fufse des Mastes lag; die Holzlage *a*, (Taf. No. I. Fig. 1) begrenzte den massiven Raum, auf welchem die eiserne Aufsentreppe anfing. Von hier aus führte im Innern eine hölzerne Treppe um den Mastbaum herum, bis zu dem Boden des Vorrathraums hinauf. Der Thurm enthielt vier über einander liegende Räume, welche gröfstentheils nur von den vertical gestellten Längshölzern gebildet wurden, deren 71, am Stamm-Ende 9 und 12 Zoll dick, vorhanden waren. Diese Construction hat weiter nichts Bemerkenswerthes; daher ist sie in der Zeichnung nicht angegeben. Die untere Grundfläche des Thurms hatte, da wo sie vollkommen rund war, 22 F. im Halbmesser; die obere Plateform, oder der Boden der Laterne, war 13,8 F. im Durchmesser und lag 59,2 F. hoch über der erstern; die gesammte Höhe war 89,2 F. Es sollen zum Bau dieses Thurmes 500 Tonnen Steine, 1200 Tonnen Bauholz, 80 Tonnen Eisen und 35 Tonnen Blei verbraucht worden sein.

(Taf. I. Fig. 1) zeigt rechts einen Theil der Ansicht, links den Durchschnitt des Thurms. Es bezeichnen:

a die Krummhölzer.

b die Balken, welche parallel mit der Bildfläche liegen; sie sind nicht schraffirt, um die Übersicht zu erleichtern.

c die Balken, welche senkrecht auf die Bildfläche liegen.

d die Steinlagen.

e Eisen, welche die untern Balkenlagen mit dem Felsen verbinden.

f die eiserne Treppe.

g den Mast.

h die Eingangsthür.

i die Thür des Vorrathraums, welche so weit zur Seite gerückt ist, dafs die herabzulassenden oder aufzuziehenden Gegenstände die Treppe nicht berühren.

k die Verstärkung der untern Ecke.

A den Vorrathsraum.

B die Wohnstube.

C die Schlafkammer.

Im Jahre 1755 wurde der Thurm durch ein in der Laterne ausgebrochenes *Feuer* völlig zerstört, da die Landung des heftigen Windes wegen nicht möglich, der Wind aber auch nicht stark genug war, das Wasser, wie es sonst oft geschah, bis zur Höhe des Thurms zu treiben.

Da der Neubau des Leuchtthurms von dem Handels-Publicum sowohl, als auch von den Pächtern sehr gewünscht wurde, so begann *Smeaton* bald darauf, einen Entwurf dazu zu machen. S. „*Narrative of the Building, and a „Description of the construction of the Edystone Ligthouse with stone; by „Smeaton.*" Dieser ausgezeichnete Ingenieur sah ein, dafs nur die Steinlagen, als Ballast dienend, das Bauwerk gehalten hatten, und dafs unter den gegebenen Verhältnissen beständige Ausbesserungen an einem hölzernen Thurme unvermeidlich sein würden; besonders unten, wo der Wurmfrafs das Holz zerstört. Er beschlofs daher, den Thurm ganz von Stein zu bauen. Da er eine grofse Grundfläche für denselben zweckmäfsig hielt, dieselbe aber, wenn man dem Thurme die Form eines *Kegels* gab, einen bedeutenden Kosten-Aufwand und eine grofse Widerstandsfläche gegen die Wogen zur Folge gehabt haben würde, so fiel er auf die Form (Taf. No. IV.), welche er, zu seiner grofsen Zufriedenheit, in dem *Stamme der Eiche* wieder erkannte.

Smeaton begab sich im Frühlinge 1756 nach *Plymouth,* um die Vorarbeiten einzuleiten. Er besichtigte die nahegelegenen Steinbrüche, wählte einen Werkplatz aus und besuchte dann zu wiederholten Malen den Felsen, um die nöthigen Angaben zu einem genauen Modelle zu gewinnen. Dies beschäftigte ihn längere Zeit, da man sehr häufig durch Wind und Wetter verhindert war, auf dem *Edystone* zu landen. Die Untersuchung des Felsens ergab, dafs derselbe aus einem schiefrigen Granit besteht, in welchen sich mit dem Pickel binnen fünf Minuten eine Vertiefung von 5 Cubikzoll hauen und in eben der Zeit ein Loch von $1\frac{1}{4}$ Z. im Durchmesser 1 Z. tief bohren läfst; so dafs also die Festigkeit des Felsens nicht sehr bedeutend ist.

Um die wichtigsten Puncte des Felsens, deren 35 bezeichnet wurden, genau zu finden, bediente sich *Smeaton* einer auf einen Dreifufs geschraubten Theodolitplatte von 1 F. im Durchmesser. Dieselbe wurde über dem markirten Mittelpunct des letzten Baues aufgestellt, und die zu bestimmenden Puncte wurden ebenfalls markirt. An der Axe des Instruments wurde ein $15\frac{1}{2}$ F.

langes Lineal befestigt, welches, damit es sich nicht biegen konnte, durch eine obere verticale Rippe verstärkt war. Die Eintheilung dieses verlängerten Radius ging vom Mittelpunct der Alhidade aus. Mittels einer aufgesetzten Libelle wurde das Lineal horizontal gestellt. Da, wegen der heftigen und veränderlichen Winde, die verschiedenen Puncte durch das gewöhnliche Loth zu messen zu unsicher gewesen sein würde, so bediente sich *Smeaton* einer 11,6 F. langen $1\frac{1}{4}$ Quadratzoll im Querschnitt haltenden hölzernen, unten mit Eisen beschlagenen Stange, welche mit Hülfe zweier, unter einem rechten Winkel eingesetzter Streben aufrecht gehalten wurde. Die verticale Stellung der Stange geschah mit Hülfe eines Winkelmaafses, welches auf dem einen Schenkel eine Libelle trug. So liefs sich durch Ablesen des Winkels und durch Messen der Länge des Radius und der Tiefe unter dem Alhidadenkreise jeder Punct in dem $15\frac{1}{2}$ F. im Halbmesser haltenden Kreise finden. Da dieses Verfahren etwas umständlich war, so hatte *Smeaton*, um die karg zugemessene Arbeitszeit auf dem Felsen möglichst zu benutzen, die 35 Puncte so angenommen, dafs die Schnüre, welche die naheliegenden verbanden, genau der Oberfläche des Felsens folgten; man konnte daher die Schnüre als Abscissen benutzen und daraus leicht die naheliegenden Puncte finden.

Um möglichst viele Arbeiter herbeizuziehen und dadurch den Bau zu beschleunigen, machte *Smeaton* zur Ausführung des Werks folgenden Plan.

1. Für die Arbeit auf dem *Edystone*-Felsen sollten, so weit es angehe, so vortheilhafte Bedingungen gemacht werden, dafs sie jeder Beschäftigung am Ufer vorzuziehen sei.

2. Dagegen sollte Jeder, der seinen Dienst nicht erfüllt, zur Bestrafung, aus dem Dienste entlassen werden.

3. Die eine Hälfte der Arbeiter sollte auf dem Felsen, die andere auf dem Werkplatz arbeiten.

4. Jeden Sonnabend, wenn das Wetter es gestatte, sollten sich die Arbeiter ablösen; doch sollte die Abtheilung auf dem Felsen so lange dort bleiben, bis die vom Ufer angekommen wäre.

5. Jeder Arbeiter sollte einen bestimmten wöchentlichen Lohn bekommen, je nachdem er auf dem Felsen, oder auf dem Werkplatz arbeitete. Im Aufsendienst wurden dem Maurer $23\frac{3}{4}$ Silbergroschen, dem Arbeiter 19 Silbergroschen täglich gezahlt; auf dem Werkplatz war der tägliche Lohn der Maurer 16 Silbergroschen, für den Arbeiter $14\frac{1}{4}$ Silbergroschen.

6. Aufser dem sogenannten Lohn hatten die Leute für jede auf dem Felsen bei der Arbeit verflossene Stunde eine gewisse Summe zu erwarten. Dem Maurer wurden für jede solche Stunde 7 Silbergroschen, dem Arbeiter $6\frac{1}{3}$ Silbergroschen ausgesetzt. Im zweiten Jahre jedoch, als die Arbeitszeit zunahm, während die Gefahr geringer wurde, erhielten Maurer und Zimmermann nur $4\frac{3}{4}$ Silbergroschen und der Arbeiter $3\frac{1}{6}$ Silbergroschen.

7. Die im Aufsendienst Beschäftigten sollten jeden Zeitpunct, wenn das Landen auf dem *Edystone* möglich war, benutzen: sei es Nacht, oder Tag; Sonntag, oder Werktag.

8. Die Abtheilung auf dem Werkplatze hatte Nachts und Sonntags nur im Nothfalle zu arbeiten und sollte dann

9. Das Doppelte des Lohns für die gleiche Arbeit zur gewöhnlichen Zeit erhalten.

10. Die Matrosen sollten ebenfalls einen bestimmten wöchentlichen Lohn bekommen, welcher noch um eine gewisse, mit der während einer Ebbe auf dem Felsen verrichteten Arbeit in Verhältnifs stehende Summe vermehrt ward. Der wöchentliche Lohn wurde auf 2 Thlr. 16 Silbergroschen angesetzt und für jede Landung erhielten sie 19 Silbergroschen.

11. Jede Abtheilung sollte einen Obmann haben, der in demselben Verhältnifs wie die Arbeiter, aber höher besoldet ward. Im Aufsendienst sollte ein Obmann täglich 1 Thlr. $17\frac{1}{2}$ Silbergr. und für jede Stunde auf dem Felsen $9\frac{1}{2}$ Silbergr. bekommen. Auf dem Werkplatz war der tägliche Sold 1 Thlr. 3 Silbergr.

12. Der Ingenieur und sein Stellvertreter sollten wöchentlich abwechseln. Sie sollten den Felsen so oft besuchen und so lange dort verweilen, als es das Wetter erlaubte, oder der Dienst es forderte.

13. Würde einer derselben durch Krankheit oder nothwendige Abwesenheit am Dienst gehindert, so sollte der andere möglichst Sorge tragen, seine Abwesenheit zu ersetzen.

14. Die Arbeiter sollten sich selbst mit Nahrungsmitteln versorgen. Bei der Rückkehr an das Festland sollte ihnen eine Bowle Punsch verabreicht werden.

15. Die Bezahlung der Matrosen und Arbeiter sollte nach der Rückkehr an das Festland erfolgen.

16. Alle Werkzeuge sollten auf Kosten der Gesellschaft angeschafft werden und ein dem *Edystone* eigenthümliches Zeichen bekommen.

17. Jeder Arbeiter, der im Aufsendienst verletzt würde, sollte, so lange er einer ärztlichen Behandlung bedürfte, seinen wöchentlichen Lohn bekommen; doch müsse eine Bescheinigung des Ingenieurs und des Agenten darüber beigebracht werden; den Arzt bezahle die Gesellschaft.

18. Jeder Arbeiter, welcher den Dienst verlassen wollte, müsse es eine Woche vorher dem Ingenieur anzeigen.

19. Der auf dem Werkplatz beschäftigte Obmann sollte eine Rechnung über alle angenommenen und abgeschickten Gegenstände führen und unter der obern Aufsicht des Ingenieurs oder seines Stellvertreters stehen.

20. Unter derselben obern Aufsicht sollte der Obmann das Gewicht der Metall-Arbeiten ermitteln, so wie die gelieferten Baustoffe nachmessen.

21. Der Obmann, welcher die auf dem Felsen arbeitende Abtheilung führte, sollte unter der Controle des Ingenieurs und seines Stellvertreters die Dauer und Zeit der Landung auf dem Felsen bemerken.

22. Wöchentlich sollte ein Bericht über die in der Woche, sowohl auf dem Felsen, als auf dem Werkplatz verrichtete Arbeit eingereicht werden.

Im August 1756 fing man die ersten Arbeiten an. Ein Schiff wurde in der Nähe des Felsens vor Anker gelegt, um die weite Fahrt nach *Plymouth* zu ersparen und jeden günstigen Augenblick, wo die Landung möglich war, zu benutzen. Drei Maurer und neun Arbeiter bildeten die Mannschaft; aufserdem waren drei Matrosen zur Bemannung des Schiffs bestimmt. Einer blieb während der Arbeit auf demselben, die andern beiden benutzten das Boot, um Materialien nach dem Felsen zu führen, und zu sonstigen Dienstleistungen. Das Edystone-Boot, welches zur Verbindung mit dem Ufer diente, wurde ebenfalls mit drei Matrosen bemannt.

Da der Felsen, als das beste Bollwerk gegen die Fluthen, möglichst wenig abgetragen werden sollte, so wurden die schon vorhandenen Abtrepppungen benutzt, zwei neue hinzugefügt, und alle bekamen schwalbenschwanzförmige Einschnitte. Schiefspulver wandte *Smeaton* nicht an, weil er einestheils, und wohl mit Recht fürchtete, dafs die schwalbenschwanzförmigen Vertiefungen so nicht herzustellen seien, anderntheils, weil er nachtheilige Erschütterungen des Felsens vermeiden wollte. Da aber mit Spitzhammern nur langsam fortzurücken war, so wurde an einigen Stellen, an welchen sich vorherrschend tafelförmige Absonderungen zeigten, mit Keilen gearbeitet. Man bohrte, 6 bis 8 Zoll von einander entfernt, Löcher von $1\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser und 8 bis 9 Zoll tief, welche Maafse der Festigkeit des Felsens am angemessensten

erachtet wurden. Zwei, an einer Seite nach der Rundung des Lochs, an der andern keilförmig geformte Eisen wurden, mit der Verjüngung nach oben, in die Löcher gebracht, und zwar so, dafs durch den zwischen beide eingetriebenen Keil die Spaltung von einem Loch zum andern erfolgte.

Im Herbst mufste man diese Arbeiten einstellen und es begann die Bearbeitung der *Portland*-Steine auf dem Werkplatz. Es hielt nemlich schwer, schnell genug so viele Granitblöcke zu bekommen, als zum ganzen Thurme nöthig waren. Man beschlofs also, nur zu den äufsern Werkstücken Granit, zu den übrigen Portland-Kalksteine zu nehmen.

Die Wahl des Bauplatzes, sonst mehr gleichgültig, war hier sehr wichtig. *Smeaton* fand Folgendes nöthig.

1. Der Werkplatz sollte nicht allein für Boote, sondern auch für die gröfseren, mit Steinen beladenen Schiffe leicht zugänglich sein; was 8 F. Wassertiefe bei der Ebbe erforderte.

2. Die Fahrzeuge sollten dort gegen Wind und Wellen geschützt sein.

3. Die aus der See kommenden beladenen Schiffe sollten vor Allem einen leichten Eingang finden; aber es sollte auch

4. Das Auslaufen der Schiffe nach dem *Edystone*-Felsen nicht zu schwierig sein.

Als Grundsatz bei der Bearbeitung der Steine wurde angenommen, dafs eine *Woche* Arbeit auf dem Werkplatz noch immer vortheilhafter sei, als eine *Stunde* Arbeit auf dem Felsen. Dies bedingte dann eine sehr genaue Bearbeitung der Steine, so wie eine Gröfse derselben, wie sie nur irgend zuläfslich war. Da aber die Landung der Steine auf den Felsen nur in Booten geschehen konnte und die Hebzeuge so leicht sein mufsten, dafs sie bei jeder Fluth leicht wieder weggenommen werden konnten, so wurde 1 Tonne (20 Ctr.) Gewicht der Steine nicht oft überschritten. Der Transport geschah auf Steinkarren; und zwar mufste jeder Stein sechsmal verladen werden, da von den geformten Steinen jede Schicht erst auf einer Plateform an einander und auf die untere Schicht gelegt wurde, um der Genauigkeit der Form sicher zu sein. Dieses Aufeinanderpassen zweier Lagen war nöthig, weil man nicht, wie bei andern Gebäuden, die äufseren Steine zuerst auflegen durfte, indem sie leicht von den Wogen herabgerissen, verschoben, oder für das überstürzende Wasser zu einem Behälter werden konnten. Es durften sich daher etwaige Fehler nicht auf einen Stein concentriren, sondern sie mufsten sich auch auf die äufsere Fläche vertheilen; was eine sehr schwierige Correction

zur Folge gehabt haben würde. Um den Transport mit Steinkarren zu erleichtern, waren hölzerne Bahnen gelegt, welche zu den verschiedenen Ablagerungsplätzen und zur Plateform führten. Die Verladung der Steine auf die Schiffe geschah mittels eines aufrechten, um eine horizontale Axe beweglichen Baums, welcher oben einen Flaschenzug hatte und, mittels einer Winde um die Axe gedreht, den Steinen eine horizontale Bewegung gab.

Gegen Ende Mais des folgenden Jahres wurde das Schiff wieder zur Abreise gerüstet; aber erst im Juni gestattete es das Wetter, die Ankerstelle am Felsen wieder einzunehmen. Die erste Landung auf dem *Edystone* hatte die Anbringung einiger Schutzpfähle an der Ostseite des Felsens zum Zweck, um die anlegenden Boote nicht zu sehr der Reibung an den rauhen Steinmassen auszusetzen; auch wurde das Hebezeug angebracht und, um dasselbe zu erproben, ein schweres, mit Mannschaft besetztes Boot auf den Felsen gehoben. Am 12ten Juni wurden die ersten Steine auf dem *Edystone* abgeliefert und es begann nun ein schwerer Kampf mit den Wogen. Häufig drangen sie so plötzlich und so heftig auf den Felsen ein, dafs sich die Arbeiter kaum retten konnten. Beim Einlegen der zweiten Schicht geschah es, dafs ein plötzlicher Sturm fünf noch nicht vollständig befestigte, aber theils schon in ihren Lagern ruhende Steine in's Meer schleuderte. Erwägt man die kurze Zeit, welche für die untern Schichten zur Arbeit benutzt werden konnte, so wie die durch Stürme veranlafsten Nachbesserungen und die neue Bearbeitung einzelner Steine, so wird man den Zeitraum von 18 Tagen zum Setzen der beiden untern Schichten (im Ganzen 19 Steine), und zweier Monate zum Setzen der sechs untern Schichten (123 Steine), nicht zu grofs finden.

Das Verfahren beim Setzen der Steine war folgendes. Wie oben bemerkt, wurden die Steine auf einer Plateform zusammengepafst und, um ihnen auf dem Felsen leicht die gleiche Lage wiederzugeben, zog man vom Mittelpunct aus Radien durch die Mitte der Steine bis zum Umfange hin; desgleichen concentrische Kreise durch die Mitte jedes Ringes. Um die Durchschnittspuncte der Linien mit den Kanten der Werkstücke unauslöschlich zu markiren, diente ein dünnes Eisenblech, mit welchem man feine Einschnitte machte, die beim Zusammenfügen genau an einander passen mufsten. So liefsen sich durch Einlegen eines Blechs die kleinsten Fehler entdecken. Die untern Lagen wurden auf ähnliche Weise durch Linien, parallel mit der Länge der Abtreppung und vertical auf derselben, bezeichnet; auch wurden die Kreuzungspuncte eingeschnitten. An den annähernd radial liegenden Seiten der Werkstücke

wurden Höhlungen 1 Z. tief und 3 Z. breit eingehauen, für welche eine Anzahl eichener Keile bestimmt waren, von etwas weniger als 3 Z. breit, 1 Z. im Kopf, $\frac{3}{8}$ Z. in der Spitze dick, und fast 6 Z. lang; aufserdem waren in den Steinen, gegen die äufsere Seite hin, zwei $1\frac{3}{4}$ Z. im Durchmesser haltende Durchbohrungen. Der Mörtel zur Herstellung des Mörtelbetts wurde in starken hölzernen Gefäfsen geschlagen, deren mehrere vorhanden waren, so dafs, wenn ein Behälter geleert war, der folgende schon wieder fertigen Mörtel liefern konnte. Das Setzen der Steine geschah meistens mit Hülfe eines leichten, beweglichen Dreifufses, der ohne Mühe bei jeder Fluth in das Boot gebracht werden konnte. Nachdem die Steine an die richtige Stelle gerückt waren, wurden sie mit schweren hölzernen Hämmern hinuntergeschlagen und dann mittels einer Libelle in die horizontale Lage gebracht. Damit sie auch vor der Erhärtung des Mörtels sich nicht verschieben konnten, dienten die oben gedachten Keile, welche mit einer $2\frac{1}{2}$ Z. breiten, $\frac{3}{4}$ Z. dicken und $2\frac{1}{2}$ F. langen eisernen Stange vorsichtig eingetrieben wurden; und zwar die einander gegenüberliegenden zugleich, und mit gleicher Kraft, damit sich die Werkstücke nur gegen einander spannen, nicht verschieben konnten. Die horizontale Verbindung war auf diese Weise hergestellt; *Smeaton* fürchtete aber, dafs bei hoher See ein ganzes Mörtelbett, wenn auch durch Gips geschützt, ausgewaschen und dadurch die ganze Lage dem Andrange der Wellen Preis gegeben werden könnte. Er ordnete daher noch eine besondere verticale Verbindung an, zu welcher die oben gedachten Durchbohrungen der Steine bestimmt waren. Mittels eines durch den obern Stein eingesteckten Bohrers wurde nemlich in den untern Stein ein Loch von 8 bis 9 Z. tief gebohrt, welches einen um $\frac{1}{8}$ Z. geringeren Durchmesser hatte, als das Loch in der obern Lage. Die entsprechenden eichenen Pflöcke waren nun so gemacht, dafs sie leicht durch das obere Bohrloch gingen; fest angetrieben drangen sie dann in das untere Loch ein, in welchem die Reibung aber meistens so stark war, dafs sie selten den Boden des Lochs erreichten; geschah dies ohne dafs der Pflock fest eingeklemmt war, so schnitt man den untern Theil desselben auf einige Zoll mit einer Säge auf und setzte einen Keil ein, welcher dann beim Abwärtstreiben des Pflocks denselben noch weiter spaltete und so das Herausziehen desselben unmöglich machte; nach Beendigung dieser Operation wurde der überstehende Theil des Pflocks abgesägt und verkeilt. Die Fugen der Werkstücke wurden darauf mittels eines Löffels mit flüssigem Mörtel gefüllt, und zwar so lange, bis das Wasser desselben von den Steinen eingesogen

war und die compactere Masse an der Oberfläche erschien; nöthigenfalls wurde noch eine schützende Gipslage hinzugethan.

Bei den sechs untern Schichten hatte man das Setzen einer Steinlage immer mit denjenigen Werkstücken beginnen können, welche in den gewachsenen Boden eingriffen; bei der siebenten Lage hörte dieser Vortheil auf und man mufste auf eine künstliche Verbindung denken. Es wurde im Centrum der mittleren Steine ein Loch von 1 Quadratfufs Fläche durchgehauen und aufserdem wurden, in einiger Entfernung von der Aufsenseite, gleichmäfsig vertheilt, acht 6 Z. tiefe, 1 Quadratfufs haltende Höhlungen gemacht. Zur Verbindung der Lagen nahm man kleine Blöcke von Marmor. Die mittleren, von 22 Z. lang und 1 Q. F. Grundfläche, reichten noch 9 Z. in die folgende Schicht hinein; sie wurden sorgfältig verkeilt und die Fugen mit Mörtel ausgegossen; die übrigen Blöcke waren cubisch. Da sie nicht durch Keile mit den Werkstücken verbunden werden konnten, so legte man vor dem Einbringen derselben Mörtel auf den Kopf, liefs ihn durch das Gewicht des Steins gehörig sich verbreiten und machte nun die gewöhnlichen lothrechten und wagerechten Verbindungen. Durch die aufgelegten Werkstücke waren, auf die Mitte der verborgenen Blöcke passend, Löcher gebohrt, durch welche man, nachdem die Befestigung geschehen war, Mörtel einzustampfen suchte; wodurch dann die Masse, nachdem der Mörtel erhärtet war, so fest wurde, als wenn sie verkeilt wäre. Die Marmorblöcke legte man im Grundrifs wo möglich so, dafs sie mitten in den breiten Theil der obern Steine eingriffen. Die ersten 9 Schichten wurden noch vor dem Herbst vollendet und litten durch die Winterstürme nicht den geringsten Schaden.

Im folgenden Jahre wurde der Anfang des weitern Baues durch schlechtes, stürmisches Wetter und durch wiederholte Unglücksfälle bis zum Juni hinausgerückt; dann aber schritt man auch rasch vorwärts, indem die Schwierigkeiten sich immer mehr verminderten. Da durch die Treppe die lothrechte Verbindung mittels Marmorblöcke in der Mitte verhindert wurde, so brachte man (S. Taf. No. IV.) sechszöllige Cuben in dem innern Kreisringe an; die wagerechte Verbindung geschah durch Ineinanderhaken der Steine; wobei die Ecken der Verbindungen vielleicht etwas weniger scharf hätten gemacht werden können.

Bis auf 34 F. hoch über der Basis, oder 26,2 F. hoch über dem höchsten Punct des Felsens, wurde der Thurm auf die beschriebene Weise

massiv aufgeführt, weil so weit die gewöhnlichen Springfluthen reichten. Der Durchmesser hier war 16,2 F. und es mufste nun dieser Raum möglichst benutzt werden, ohne die Festigkeit der Construction zu vermindern. Die Verbindung der 26 Z. starken Werkstücke stellte *Smeaton* nicht durch schwalbenschwanzförmige Verbindungen, sondern durch eiserne Krammen und durch eingelegte marmorne Dübel von 8 Z. lang, 4 Z. breit und 3 Z. dick her, welche, in die Mitte der untern Werkstücke eingelassen, die Fugen der beiden oberen trafen und so das Verschieben derselben verhinderten.

Aufser gehörig *fest*, mufsten die Umfangsmauern auch *wasserdicht* sein, damit die Wohn- und Vorrathsräume im Innern des Thurms auch bei den heftigsten Stürmen trocken blieben. Die *wagerechten* Fugen wurden durch das Gewicht des Mauerwerks zusammengeprefst, so dafs das Schwinden des Mörtels zwar ein Setzen des Gebäudes, aber keine Fugen zur Folge haben konnte: anders verhielt es sich mit den *senkrechten* Fugen, welche leicht durch geringes Eintrocknen des Mörtels, oder durch eine unbedeutende Verminderung des Steinvolumens dem Eindringen von Wasser geöffnet werden konnten. Um Dem vorzubeugen, liefs *Smeaton* mitten in den verticalen Stofsflächen dreieckige Rinnen von $2\frac{1}{2}$ Z. breit 3 Z. hoch von der obern bis zur untern Lagerfläche aushauen. Dadurch wurde von je zwei benachbarten Steinen ein leerer viereckiger Raum gebildet, von beiden Seiten durch die, wie gewöhnlich mit Mörtel angefüllten lothrechten Stofsflächen begrenzt. Dieser leere Raum wurde mit einem 2 Z. breiten und 5 Z. dicken Parallelepiped aus sehr festem Marmor ausgefüllt, welches, nachdem flüssiger Mörtel in die Höhlung gegossen, hineingestofsen und durch einige leichte Schläge angetrieben wurde. Darauf legte man über diese Marmorstücke Krammen von 13 Z. lang $\frac{5}{8}$ Z. dick, 2 Z. breit, an jedem Ende um 3 Z. umgebogen, welche $\frac{3}{4}$ Z. tief eingelassen wurden. Man legte sie rothglühend auf, nachdem sie vorher eingepafst und die Löcher mit Öl gefüllt waren, um sowohl die Oberfläche des Eisens, als auch die des Steins vollkommen mit der schützenden Masse zu überziehen und die Verbindung des am Schlusse der Operation eingegossenen Bleis mit dem Steine und dem Eisen zu befördern. Dieses Verfahren zeigte sich practisch; die Steine erfuhren nicht die geringste Veränderung ihrer Lage, und *nur eine* Fuge im ganzen Thurme liefs das Wasser durch.

Die Decken, welche zugleich die Fufsböden der obern Räume bilden, stützen sich nicht als Gewölbe gegen die Umfangsmauern, sondern sind als eine feste Masse auf die Mauern gelegt und mit denselben verzahnt. Um

die einzelnen Gewölbsteine fest zu verbinden, nahm man zu dem Schlufsstein, welcher das sogenannte Mannsloch enthält, ein sehr grofses Werkstück, gab demselben Schwalbenschwänze und fügte die übrigen Steine auf gleiche Weise zusammen. Da aber durch das Zerbrechen eines Steins, vielleicht in Folge des Fallens eines schweren Körpers, plötzlich ein schädlicher Seitendruck entstehen konnte, so hielt *Smeaton* die Verbindung durch Krammen nicht für hinreichend, um den Umfangsmauern auch für diesen Fall die nöthige Festigkeit zu geben, indem das Zerbrechen der Steine auch zwischen den Eisen geschehen konnte. Er liefs daher für die Schichten, gegen welche sich die Gewölbe lehnten, Ketten machen, deren Glieder, von $1\frac{1}{4}$ Quadratzoll Querschnitt, unmittelbar neben einander lagen. Dieselben wurden in die nicht ganz 4 Z. breiten und 4 Z. tiefen Furchen an der obern Seite der Werkstücke gelegt. Da das Blei, wenn man es von einer Seite eingofs, wegen der bedeutenden Gröfse der Furche schnell erkaltet sein würde und folglich unzusammenhängende Schichten entstehen konnten, so verfuhr man anders; wie folgt. Man überzog die Kette schon am Ufer mit Öl. Nachdem sie eingelegt war, wurde ihre ganze Oberfläche noch einmal geölt und die Furche durch kleine Thondämme in vier Theile getheilt. Das in zwei Kesseln bis zum Rothglühen erhitzte Blei liefs man nun durch die Arbeiter einschöpfen, nahm den nächsten Thondamm weg, sobald ein Theil sich gefüllt hatte, gofs das Metall gegen die Endflächen, um eine Vereinigung durch Schmelzung zu erzielen, und fuhr so weiter fort, bis die ganze Fuge gefüllt war. Um die zur lothrechten Verbindung nöthigen Vertiefungen herzustellen, legte man an den entsprechenden Stellen Ziegelsteine ein, welche, nachdem das Metall erkaltet war, entfernt und durch Dübel ersetzt wurden.

Die Bedeckung des Vorrathraums konnte des stürmischen Wetters wegen nicht mehr beendigt werden. Einer von den im Innern des Thurms niedergelegten Steinen (4 bis 5 Centner schwer) wurde durch Sturmfluthen in das Meer geschleudert, und die an die Ankerketten befestigten Tonnen wurden weggetrieben. Da die Ketten nicht wieder aufzufinden waren, so wurde der Anfang der Arbeit durch die Herbeischaffung neuer Ketten bis Anfangs Juli 1759 hinausgeschoben.

Man hatte im vorhergehenden Jahre die Steine mittels einer sogenannten *Scheere* (Bockgerüst) gehoben, bestehend, wie bekannt, aus zwei, am Fufse um einen horizontalen Bolzen beweglichen, oben verbundenen Stämmen, welche

durch zwei mit Flaschenzügen befestigte Seile gedreht werden konnten. Das eine dieser Seile, welches angezogen wurde, um den Stein, nachdem er die gehörige Höhe erreicht hatte, abzusetzen, war an einem Ringe an der entgegengesetzten Seite des Thurms befestigt, das andere, ihm entgegenwirkende Seil hatte auf dem gegenüberliegenden Felsen seinen Haltpunct. Das Aufziehen der Werkstücke geschah mit Hülfe einer auf dem Felsen befestigten Winde, welche das Seil, nachdem es über eine, ebenfalls auf dem Felsen angebrachte Rolle geleitet war, aufwickelte. Bis zur Beendigung des ersten Gewölbes war das Heben der Steine mittels dieser Scheere und eines auf dem Thurme aufgestellten Dreifufses thunlich; nachdem aber das Gewölbe vollendet war, wäre das Hindurchbringen der Steine durch das Mannsloch unmöglich, oder doch sehr schwierig gewesen. Man machte daher jetzt eine zweite Scheere. Die beiden Hauptlölzer derselben waren unten durch ein horizontales Stück verbunden; statt des Leitseils wurde an der Rückseite eine Strebe angebracht, die, mit einer Klaue auf das Mauerwerk gesetzt, dem obern Theile der Scheere diejenige Entfernung von der äufsern Seite des Thurms gab, welche nöthig war, um den Stein ohne Beschädigung hinaufzuziehen. Ein neben der Strebe angebrachtes Seil mit Flaschenzug diente, das Überstürzen der Scheere zu verhindern und mittels einer Drehung des obern Theils der Scheere dem Steine eine horizontale Bewegung zu geben. Ehe dies geschah mufste natürlich die Strebe ausgerückt werden. Das Aufziehen der Werkstücke geschah mit Hülfe einer, für zwei Arbeiter im Vorrathsraum einstweilig eingerichteten Winde.

Mitte August wurde das Gesims vollendet und der Bau hatte nun folgende Maafse:

Die sechs Lagen von der Grundfläche bis zum Gipfel des Felsens waren	8,1 F. hoch.
Die acht Lagen bis zur Eingangsthüre waren . . .	12,0 - -
Die zehn Lagen bis zum Boden des Vorrathraums waren	14,4 - -
Die Höhe der vier Zimmer bis zum Boden des Balcons betrug	33,4 - -
Die gesammte Höhe der 46 Steinschichten war also	67,9 F.

Die Abweichung der Mittellinie betrug, wie *Smeaton* fand, $\frac{1}{8}$ Z. nach Osten.

Um den Thurm schon vor der Vollendung der Laterne bewohnbar zu machen, wurden zwei niedrige Tonnen verfertigt. Die eine, ohne Boden, etwa 1 F. hoch, hatte an den Endflächen denselben Durchmesser wie das

Mannsloch und wurde in dasselbe so tief eingetrieben, dafs das Holz an allen Stellen dicht an den Stein anschlofs. Eine zweite Tonne, mit starkem Boden, 9 Z. hoch, wurde dann über die etwa 8 Z. über dem Boden hervorstehende erste gedeckt und dadurch dem Wasser der Eingang verschlossen, während eine Öffnung von Innen leicht herzustellen war.

Den untern Theil der achteckigen Laterne bilden sechs Steinlagen. Eine in diesem Raum angebrachte Bank dient, theils zum Sitz, theils zum Tritt beim Putzen der Lichte. Eine starke Thür führt auf den Balcon. Ein schmiedeiserner, an der innern Seite des Mauerwerks eingelegter Ring von 4 Z. breit und 1 Z. stark, welcher durch eiserne Zugstangen mit dem zunächst darunter liegenden Gewölbe verbunden ist, dient seinerseits dazu, die Verbindung der obern Laterne mit dem Mauerwerk herzustellen. An den acht Ecken sind gufseiserne Rippen aufgestellt, welche Flanschen haben und auf den erwähnten Ring geschraubt wurden. Die Verbindung der genannten Stücke zeigt (Taf. No. I. Fig. 2) in Einfünftel der natürlichen Gröfse,

a ist die gufseiserne Rippe,

b dient zur Verbindung der Zugstange mit dem eisernen Ringe *g*, indem das Mittelstück desselben, mit einer nach *a* zu abfallenden Fläche, den Haken der Zugstange fafst,

c sind Schrauben, welche die Flanschen *d* der Eckrippe mit dem Ringe *g* verbinden,

e sind kupferne Schrauben, welche die ebenfalls kupfernen Fensterrahmen *f* an dem vorspringenden Theile der Rippe befestigen.

Der Durchschnitt des Rahmens ist in einer besondern Figur angegeben und es bezeichnet *vw* und *yz*, sowohl hier, als im Grundrifs, den Durchschnitt der Glastafel, während *c* den innern, *k* den äufsern Punct des Rahmens bezeichnet. Die Befestigung des Glases geschieht durch vorgesteckte metallene Nadeln; der Kitt soll hauptsächlich nur die Wasserdichtigkeit hervorbringen. Um die Laterne gegen Verdrehung zu schützen, glaubte *Smeaton*, aufser den verticalen und horizontalen Theilen der Verbindung, noch schräge Stäbe anbringen zu müssen, welche, $1\frac{1}{8}$ Z. stark, diagonal vor den Fenstern sich kreuzend, mit den Rahmen zusammengeschraubt wurden. Diese Stäbe unterstützen zugleich die Glasscheiben.

Die Beleuchtung geschah durch Talglichte, welche auf zwei, concentrisch, aber nicht in einer Ebene liegenden ringförmigen Rahmen angebracht sind.

Der gröfsere Rahmen, von 6,1 F. im Durchmesser, trägt sechszehn, der kleinere, von 3,2 F. Durchmesser, acht Lichte. Beide sind so gemacht, dafs sie einander das Gleichgewicht halten, damit das Herabziehen eines einzelnen Rahmens keine Schwierigkeiten habe. Die mit Kupfer bedeckte Kuppel hat oben eine doppelt im Feuer vergoldete Kugel, durch welche das Rauchrohr der Küche geht. Zwischen diesem Rohr und der innern Wand der Kugel befindet sich ein leerer Raum, welcher die Laterne mit der äufsern Atmosphäre in Verbindung setzt; durch sechs Zwischenstücke wird das Rauchrohr in der Kugel befestigt. Da das, $3\frac{1}{4}$ Pfd. der Quadratfufs wiegende Kupfer der Bedeckung zu stark war, um sich in den Fugen biegen zu lassen, so stiefs man die Tafeln auf den eisernen Rippen stumpf an einander und bedeckte sie mit 3 Z. breiten Streifen, welche auf beiden Seiten festgenietet wurden. Das ganze Gewicht der Kuppel ist 11 Centner.

Im September wurde der eiserne Ring, welcher der Laterne als Lager dient, auf den Thurm gebracht. Um eine gleichmäfsig feste Unterlage herzustellen, keilte man den Ring, nachdem man sowohl Eisen als Stein mit einer Ölschicht überzogen hatte, etwa $\frac{3}{8}$ Z. in die Höhe, so dafs er vollkommen horizontal lag. Man entfernte dann einige Keile, gofs den Raum voll Blei und wiederholte dies so lange, bis die ganze Unterlage hergestellt war. Wenn auch die sich berührenden Theile der verschiedenen Lagen nicht zusammengeschmolzen wurden, so gelangte man doch zu einer gleichmäfsigen Unterlage.

Nachdem die gufseisernen Rippen befestigt und durch den obern Ring verbunden waren, brachte man die Kuppel hinauf. Um sie zu heben, mufste ein besonderes Gerüst verfertigt werden. Die auf dem Felsen befestigte Scheere wurde, da sie einestheils nicht mehr nöthig, anderntheils dem Aufziehen der Kuppel hinderlich gewesen wäre, weggenommen, durch die Fenster des obern Stockwerks gelegt und dort befestigt. Ein krahnförmiges Gerüst wurde auf der Plateform angebracht und, um die Bewegung lenken zu können, senkrecht durch Seile mit den Enden eines durch die Fenster gelegten Balkens verbunden. Das Drehen des Gerüstes geschah mittels eines Flaschenzuges und eines Seils, welches letztere an dem einen Ende eines andern durch die obern Fenster gesteckten Balkens und dann zu mehrerer Festigkeit im Innern des Thurms befestigt wurde. Um zu verhindern, dafs das Gerüst nach hinten überstürze, brachte man ein Seil auf den gegenüberliegenden Felsen an. Vom Wetter begünstigt, wurde die ganze Operation in einer halben Stunde ausgeführt.

Es ist noch zu bemerken, dafs weder Eisen- noch Holztheile in die Fugen der Umfangsmauern eingetrieben wurden. Man bohrte Löcher in den massiven Stein und schlug entweder conische Eisen hinein, oder man gofs Blei hinein, oder man schlug auch (was innerhalb am häufigsten vorkam) einen hölzernen Pflock in die Höhlung und befestigte in diesem dann die Eisen. Damit es der Feuchtigkeit unmöglich wäre, von oben einzudringen, überzog man den Balcon mit Blechtafeln, deren Fugen mit Streifen bedeckt wurden. Die Tafeln selbst reichten so weit hinab, dafs sie an der untern Seite des Gesimses aufwärts gebogen werden konnten. Zum Blitzableiter benutzte *Smeaton* die kupferne Rauchröhre, welche er mit der bleiernen Ausgufsröhre in Verbindung setzte und von dieser aus einen an eichene Pflöcke befestigten Bleistreifen bis auf die Felsen hinabführte; die weitere Leitung geschah durch eine eiserne Kette, welche zu jeder Zeit mit dem Wasser in Berührung stand. Alles Eisenwerk wurde zweimal mit Ölfarbe angestrichen; die Geländerstäbe aber, welche dem Wasser sehr ausgesetzt sind, wurden gleich bei der Verfertigung mit Leinöl überzogen und dann noch viermal angestrichen.

Zusammen wurden auf dem Felsen 111 Tage und 10 Stunden gearbeitet, und es wurden in dieser Zeit versetzt und eingelegt: 1493 Werkstücke, 75 grofse und 162 kleinere Dübel, 399 flache Dübel in dem obern Theile des Thurms, 1800 eichene Nägel, 4570 Paar eichene Keile, 7 Ketten zur Verbindung der die Gewölbe tragenden Schichten und 221 starke eiserne Klammern.

Im Jahre 1766 wurde *Smeaton* aufgefordert, über den Zustand des Leuchtthurms zu berichten. Dieser Bericht ist im Auszuge folgender:

Nachdem ich das Gebäude sorgfältig untersucht habe, kann ich zu meiner grofsen Zufriedenheit melden, dafs kein Theil desselben auch nur im Geringsten der Wuth und Heftigkeit der See nachgegeben hat; doch möchten folgende Gegenstände noch eine nähere Erwägung erfordern. Die Lagen des Cements, welche von der Fluth bedeckt wurden, so wie diejenigen, welche noch bis auf sechs Fufs höher liegen, sind vollkommen gut erhalten und bedeutend fest geworden. Von da an aber, bis zu 10 bis 12 F. hoch über der gewöhnlichen Fluth ist der Cement angefressen; besonders an der Ostseite. Die höhern Cementlagen sind wieder vollkommen gut erhalten und haben noch die natürliche Farbe, welche an den untern Lagen verloren gegangen ist. Von der Kette, welche den Fufs des Blitzableiters mit dem Wasser in Verbindung setzt, ist die untere Hälfte, theils durch Rost, theils durch An-

schlagen an die Felsen zerstört; ich habe deshalb eine neue Kette aus stärkerem Eisen machen lassen. Die Stäbe des Balcons haben verhältnifsmäfsig wenig gelitten. Da sich an einigen Rostflecke zeigen, so habe ich angeordnet, dafs man diese Stäbe, ehe man sie von neuem anstreicht, mit geeigneten Werkzeugen abschabe. Die Laterne hat sich sehr gut erhalten; kaum ein Rostfleck zeigt sich an der äufsern Seite; nur an den Kniestücken und Rippen im Innern der Kuppel ist das Eisen oxydirt; es wird abgekratzt und neu angestrichen werden. Die vergoldete Kugel auf der Spitze des Thurms hat sich, ungeachtet ihrer so sehr ausgesetzten Lage und des durch sie hindurchgehenden Rauches, sehr gut gehalten und glänzt noch wie an dem Tage, als man sie hinaufbrachte. Die Laterne ist wasserdicht geblieben; nur bei sehr starken Stürmen kann etwas Feuchtigkeit eindringen. Die eisernen Theile der Thüren und Fenster haben am wenigsten gelitten; besonders an der innern Seite. Da hier der Erneuerung nichts im Wege steht, so hat dieser Umstand nichts zu bedeuten. Die Höhle an der Ostseite des Felsens scheint sich nicht verändert zu haben; doch läfst sich nicht mit Sicherheit sagen, ob sie dem Gebäude nicht gefährlich werden könnte.

In den Jahren 1777 und 1787 besuchte *Smeaton* den Leuchtthurm abermals, und fand nichts Wesentliches verändert; nur fand er bei dem letzten Besuch den Mörtel der obern Lagen um $\frac{1}{6}$ Zoll gegen die äufsere Fläche des Granits zurückgetreten.

Taf. No. IV. zeigt die Ansicht, den Durchschnitt und zwei Grundrisse des Leuchtthurms. *E* ist der Eingang, *F* die Wendeltreppe, *G* der untere Vorrathraum, mit einer nach Aufsen gehenden Thür, *H* der obere Vorrathraum, *I* die Küche, *K* der Schlafraum, *L* die Laterne.

Die Verbindung der verschiedenen Etagen geschieht durch leichte hölzerne Leitern. Es wurde die oben genannte Reihenfolge der Räume deshalb angenommen, weil man in den frühern zerstörten Leuchtthürmen über Feuchtigkeit der tiefer liegenden Wohnräume geklagt hatte. Die neue Anordnung hat auch noch den Vortheil, dafs der obere Raum durch das Rauchrohr erwärmt wird, während ihn zugleich die durch das Mannsloch heraufziehende Wärme gegen Feuchtigkeit und Kälte schützt.

Die Grundrisse sind nach den angegebenen Durchschnittslinien gezeichnet. In dem Grundrifs nach *AB* sieht man die drei Bettladen *b*, *b*, *b*, das Rauchrohr *c* und die Uhr *a*.

Im Jahre 1807 wurden die Talgkerzen auf diesem Thurme mit Argandschen Lampen und parabolischen Reflectoren von versilbertem Kupfer vertauscht. *Coulier* in seiner „*Description générale des phares et fanaux*" sagt, dafs die Stürme der Jahre 1838 und 1839 den Leuchtthurm so sehr beschädigt hätten, dafs man ein Leuchtschiff herstellen mufste, um nicht gezwungen zu sein, das Feuer beim Verlassen des Thurms einzustellen. Die Beschädigungen scheinen jedoch nicht so bedeutend gewesen zu sein, da *Stevenson* ihrer nicht erwähnt.

(Die Fortsetzung folgt.)

8.

Über die italienische Bauart zur Zeit der Wiedergeburt der Künste (Renaissance).

(Von dem Herrn Oberbaumeister *Engelhard* zu Cassel in Hessen.)

Wenn von einer Zeit der Wiedergeburt der Künste in Italien die Rede ist, darf man im Allgemeinen nicht annehmen, dafs es jemals eine Kunstperiode in Italien gegeben habe, wo die antike Kunst ganz vernichtet und vergessen gewesen wäre. Abgesehen davon, dafs ihre Denkmäler, in beträchtlicher Zahl, der Zerstörung durch barbarische Kriege und durch die Wirkungen der Elemente im Laufe der Jahrhunderte entgangen waren, so war auch die Achtung und das Studium der Kunst des Alterthums nie ganz erloschen.

Die byzantinische Bauart, die während und nachdem Italien durch barbarische Völkerstämme überschwemmt worden war, dort herrschte, war nichts anderes als eine Fortsetzung der altrömischen Bauart. Ich glaube an anderm Orte (Wiener allgemeine Bauzeitung 1844 S. 141) nachgewiesen zu haben, dafs für dasjenige Gebäude, welches in Italien als Hauptrepräsentant der byzantinischen Bauart betrachtet werden mufs, nemlich die *Marcuskirche* in *Venedig*, ungeachtet ihres andern Zweckes, dennoch die architektonischen Motive von den prächtigen Thermen altrömischer Kaiser entlehnt worden sind.

Eben so hat auch die Spitzbogengewölbe-Bauart, in der Zeit, wo sie im übrigen Europa, mit Ausschlufs jedes andern Baustyls, Sitte war, niemals in Italien die altrömische Bauart, wenigstens nicht den aus ihr entstandenen byzantinischen Baustyl, ganz verdrängt; sie amalgamirte sich vielmehr mit dem letzteren und es entstand daraus ein neuer, höchst phantasiereicher und prächtiger, wenn auch in seinem inneren Systeme nicht ganz consequenter Baustyl, der von dem Spitzbogengewölbestyl im übrigen Europa sehr wesentlich verschieden war. Dieser Styl hat viele sehr interessante Monumente durch ganz Italien, besonders in kirchlichen Gebäuden hinterlassen. Ich möchte als besonders hervortretende Denkmale derselben unter den Kirchen besonders die Kirche des heiligen *Antonius* zu *Padua*, ihrem Äufsern und Innern nach, so wie die

Domkirchen zu ***Orvieto*** und ***Siena,*** von den profanen Bauwerken aber den Dogenpalast zu ***Venedig*** nennen. An diesen Gebäuden, so wie an allen andern von derselben Bauart, zeigen sich unverkennbar Motive altrömischer Architektur.

Es ist also die Zeit der Wiedergeburt der alten Kunst nicht etwa ein blofser Augenblick, wo sie gleich einem Phönix aus der Asche wieder erstanden wäre, sondern es ist vielmehr eine Zeit, wo sich gleichsam die mannichfach vertheilten und verzogenen Fäden der alten Kunst wieder zu einem schönen harmonischen Gewebe, welches Fremdartiges, Widersinniges von sich abzuhalten bemüht war, vereinigten. Da aber die Zurückweisung fremdartiger Motive, die einmal mit Sitte und Gewohnheit sich verschwistert hatten, nicht ganz möglich war, so erhielt die Kunst der Renaissance einen gewissen Reiz der Mannichfaltigkeit von Formen und Verzierungen, auch selbst von geistiger Bedeutsamkeit, welcher ihr keinesweges Nachtheil brachte, vielmehr ihr Interesse erhöhte.

Die Kunst, welche in Italien im funfzehnten und sechszehnten Jahrhunderte entstand und blühete, ist es, welche die moderne Zeit meint, wenn sie sagt, dafs eine Nachahmung der Kunst der Renaissance der gegenwärtige Kunststyl sei.

Bei einer solchen Kunst-Entwicklung ist immer die Ursache ihrer ersten Entstehung, oder ihr Grundmotiv, von grofsem Interesse. Leider hat die Kunstgeschichte des Mittel-Alters nur zu viele dunkle Stellen, über welche die Kunstdenkmäler jener Zeit nicht immer nach Jahreszahl und Persönlichkeiten genaue und bestimmte Auskunft geben, während die spärlichen schriftlichen Quellen voll Irrthümer sind, die noch durch die Vorurtheile der Verfasser der schriftlichen Nachrichten vergröfsert werden.

Diesem Vorwurfe kann auch *Vasari* nicht entgehen, der im Jahre 1512, also noch bei Lebzeiten ***Raphaels*** von ***Urbino,*** welcher 1520 starb, geboren wurde, und der nicht lange nach dem Schlusse des Zeit-Alters, welches man gewöhnlich als den Schlufs des Mittel-Alters betrachtet, sein Buch der Lebensbeschreibungen der Maler, Bildhauer und Architekten schrieb.

Vasari sagt in seiner Lebensbeschreibung des Florentinischen Bildhauers und Architekten ***Philipp Brunelleschi,*** in Betreff des Wieder-Auflebens der antiken Baukunst, dafs dieser Künstler zwar unscheinlich von Person, aber von einem so erhabenen Talente gewesen sei, dafs man sagen könne, er sei vom Himmel gesandt, um der Baukunst eine neue Gestalt zu geben,

nachdem sie Jahrhunderte lang eine entartete Form gehabt habe, in welcher die damaligen Zeitgenossen viele Reichthümer übel angewendet hätten, indem sie Gebäude ohne Regelmäfsigkeit, mit schlechten Verhältnissen, jämmerlicher Zeichnung, den wunderlichsten Motiven, gänzlichem Mangel an Grazie und den allerschlechtesten Verzierungen gebaut hätten: ein Urtheil, welches in der That nicht auf so viele schöne und prächtige Productionen der mittelalterlichen italienischen Baukunst, z. B. auf die von *Giotto* pafst, der von 1276 bis 1336 lebte.

Erste Epoche der Wiedergeburt der griechisch-römischen Baukunst unter *Brunelleschi* und seinen Nachfolgern, im Laufe des funfzehnten Jahrhunderts.

Brunelleschi, 1377 geboren und 1446 gestorben, wird gewöhnlich als der Schöpfer des sogenannten *Florentinischen Styls* betrachtet; und dieser Baustyl kann füglich als die erste deutlich geformte Übergangsstufe des mittelalterlichen Baustyls zu der wiederauflebenden antiken Baukunst angesehen werden. Merkwürdig ist es aber, dafs diejenigen Florentinischen Gebäude, welche man gewöhnlich für Werke *Brunelleschi's* hält, der früheren mittelalterlichen Bauart weniger verwandt zu sein scheinen, als die etwas spätern von *Leon Batista Alberti,* von *Benedetto da Majano, Simon Pollajolo (Cronaca), Michelozzo Michelozzi* und Andern, welche als die späteren Koryphäen dieser Bauart betrachtet werden dürfen.

Dabei läfst sich auch nicht leicht annehmen, dafs eine Bauart, die sich so wesentlich unterschied, ganz allein von dem Genius eines einzelnen Künstlers hervorgebracht worden sei, wenn dieser Genius auch zu denen gehörte, denen *Vasari* eine ungemessene Verwegenheit *(smisurata terribiltà)* zuschreibt. Wenigstens möchten solche Talente von besondern Zeit-Umständen begünstigt werden müssen.

Der Florentinische Baustyl herrschte auch nicht in *Florenz* allein: es finden sich vielmehr in den Städten Ober-Italiens, besonders in *Bologna,* so wie auch in *Venedig,* viele schöne Denkmäler desselben, und man mufs daher als wesentliche Förderung dieses Styls, den Reichthum des Bürgerstandes, der damals in diesen Städten so sehr zugenommen hatte, betrachten; um so mehr, da es bekannt ist, wie sehr die reich gewordenen bürgerlichen Familien (zu welchen auch der Adel von *Venedig, Florenz, Siena* u. a. O. zu rechnen ist, weil er bürgerliche Gewerbe, namentlich Handel trieb) Künste

und Wissenschaften liebten und förderten. Man denke nur z. B. an die ***Mediceer***. Da sich dieser bürgerliche Reichthum in ***Rom*** und ***Unter-Italien*** damals wenigstens nicht in eben dem Maafse fand, findet sich daselbst auch die Florentinische Bauart nicht. Auch hat sie sich aus dem obigen Grunde vorzüglich an profanen Gebäuden, namentlich an Wohngebäuden und Palästen gezeigt.

Der bedeutendste Palast, welchen ***Brunelleschi*** in ***Florenz*** erbaute, ist der jetzige grofsherzogliche Palast, oder, wie er noch in gerechtem Andenken an seinen ersten Erbauer heifst, der Palast ***Pitti***. *(Architecture Toscane par A. Grandjean de Montigny et A. Famin. pl. 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8.)* Er wurde von ***Lucas Pitti***, einem reichen Florentinischen Bürger, nach den Zeichnungen ***Brunelleschi's***, der sich dabei zur technischen Ausführung des Beistandes des Architekten ***Lucas Fancelli*** bediente, erbaut, nach ***Pitti's*** Tode aber von dessen Erben an die Prinzessin ***Eleonora von Toledo***, Gemahlinn ***Cosimus I.*** von ***Medici*** verkauft. Der Palast war noch unvollendet und es wurde dessen Bau von dem Architekten und Bildhauer ***Bartolomeo Ammanati***, der 1511 (also neun Jahr vor Raphaels Tode) geboren war und 1592 starb (also 148 Jahre nach ***Brunelleschi's*** Tode), fortgesetzt. Von ***Ammanati*** rührt hauptsächlich die Arcadenverzierung des innern Hofes her, die nicht mehr der eigenthümlichen sogenannten Florentinischen Bauart angehört, also nicht für ein Werk ***Brunelleschi's*** gehalten werden darf. Auch nach ***Ammanati's*** Zeit ist von den spätern Grofsherzogen noch Manches an dem Palaste verändert und zugesetzt worden.

Wer dieses Gebäude nur aus geometrischen Abbildungen und nicht in der Wirklichkeit kennt, wird schwer begreifen, wie dasselbe so sehr berühmt sein könne, da es, wenigstens in seiner äufsern Erscheinung, so höchst einfach ist, dafs man in den drei Stockwerken kaum ein Paar verschiedene Motive bemerkt. Aber es ist unglaublich, wie schön sich dieser Palast in freier Luft ausnimmt. Die vorspringenden Flügel, welche mit der verminderten Breite des obern Stockwerks in der perspectivischen Ansicht eine wunderschöne Pyramidirung bilden: die Stellung auf einem ansteigenden Boden: endlich die schöne, solide Ausführung: alles Das in italienischem Licht und italienischer Luft, ist bezaubernd. Sonst hat die Architektur des Palastes eigentlich nur drei verschiedene Motive: die mit überhöheten Bogen überwölbten Fenster und Thüren: die ganz ähnlichen Kranzgesimse, mit ihren Dockengeländern, und die Mauerquadrirung. Die Ausfüllung der Bogenthüren des untern Stockwerks mit mannichfach gegliederten Fenster-Einfassungen mit Be-

dachungen sind ohne Zweifel später als ***Brunelleschi,*** und wahrscheinlich auch von ***Ammanati.***

Weit reicher in der Erfindung sind dagegen die Paläste ***Nicolini*** und ***Guadagni*** in ***Florenz,*** die man gleichfalls ***Brunelleschi*** zuschreibt. (***Architecture Toscane*** pl. 69, 70 und 71, so wie 29.) An denselben findet man schon antike Säulenstellungen und complicirtere Gesimse und Gliederungen; auch mannichfaltigere Mauerwerksconstructionen in den Façaden. Die zierlichen Ornamente an der Façade des Palastes ***Guadagni,*** welche die „***Architecture Toscane***" darstellt und von denen sie sagt, sie seien in *sgrufitto* (d. h. auf schwarzen Frescogrund, der weifs oder grau überzogen ist) schraffirt ausgeführt, scheinen mir nicht alle im Character der Zeit ***Brunelleschi's*** zu sein. Ich erinnere mich dieses Palastes nicht, und weifs nicht, ob sie treu wiedergegeben sind; auch können sie wohl später, nach der Erbauung der Façade, hinzugefügt sein.

Es ist interessant, hiermit die Schöpfungen des Architekten ***Leon Batista Alberti,*** der in der Zeitfolge zunächst nach ***Brunelleschi*** kommt, zu vergleichen. ***Alberti*** war 1398, also 22 Jahre später als ***Brunelleschi*** geboren und kann daher immerhin schon als ein Nachahmer des Letzteren betrachtet werden. Man wird ihm dieses Prädicat nicht entziehen können, wenn man den von ihm oder den nach seiner Zeichnung erbauten Palast ***Rucellai*** (***Architecture Toscane pl. 21.***) vergleicht. Aber er war kein geistloser Nachahmer; wie es auch von einem Manne wie ***Alberti,*** der nicht blofs Künstler, sondern auch Schriftsteller war, erwartet werden durfte.

Man sieht an dem Palaste ***Rucellai*** schon eine reichere Anwendung antiker Baukunst, als an den Werken ***Brunelleschi's:*** ob auch eine besser verstandene, dürfte sich nicht unbedingt bejahen lassen. ***Alberti*** hat in den drei Stockwerken Säulenstellungen angebracht, und zwischen denselben zwar vollständige Gesimse, aber keine Piedestale; was er doch, wenn er den antiken Mustern, z. B. dem Colosseum zu Rom, dem Theater des Marcellus u. a. treu folgen wollte, nicht thun durfte. Hätte er aber Piedestale und eine mit ihnen durchgehende Brüstung angebracht, so wären, weil die durch das Bedürfnifs gegebene Höhe der Stockwerke deshalb nicht vermehrt werden konnte, die Säulen so niedrig und schmal geworden, daf sie, als unfähig zum Tragen, das Auge beleidigt hätten; oder man hätte von den antiken Verhältnissen abgehen müssen; was wiederum sehr störend für den Gewohnheitssinn gewesen wäre. So wie die Anordnung ist, sieht es aus, als wenn die Fenster

bis auf den Fufsboden der Zimmer hinabreichten. Denn niemals kann ein aus Carnies, Fries und Architrav bestehendes Gesims eine Fensterbrüstung vorstellen. ***Brunelleschi*** hat Dieses an seinen Palästen wohl gefühlt und deshalb wahrscheinlich die Säulenstellungen in allen andern wie dem obern Stockwerke vermieden; und der Palast ***Guadagni*** hat sehr wohl proportionirte Brüstungen. Aber ***Alberti*** hätte den von ihm gemachten wesentlichen Fehler vermeiden und, nächst wirklich gröfserer Einfachheit, dennoch eine gröfsere Mannichfaltigkeit erlangen können, wenn er die Aufgabe so schön zu lösen gewufst hätte, wie in neuerer Zeit ***Durand,*** der zwischen den Stockwerken auf das Architrav keinen Fries und kein Carnies, sondern unmittelbar die Brüstung und auf diese die Säulenstellung des nächsten Stockwerks setzte. Man stelle sich diese Veränderung an dem Palaste ***Rucellai*** vor, und zwar an der Stelle der schweren Carniese und gedrückten Friese zwischen den Stockwerken so schön verzierte und proportionirte Brüstungen, wie am Palaste ***Guadagni,*** und man wird nicht läugnen können, dafs dadurch das Ganze sehr gewinnen müfste.

Die reiche Auszierung des innern Raums der Bogenfenster des Palastes ***Rucellai,*** mit ihrer Unter-Abtheilung in kleinere Bogen, hat offenbar in den auf gleiche Weise abgetheilten Spitzbogenfenstern ein mittelalterliches Motiv. Sie kommt auch vor an den Florentinischen Palästen dieser Zeit, die noch etwas später als die Werke ***Alberti's*** entstanden. Es ist demnach zu verwundern, dafs sich diese mittelalterliche Nachahmung in den Werken der Nachahmer ***Brunelleschi's*** und nicht in seinen eigenen, z. B. in den erwähnten Palästen ***Pitti, Nicolini*** und ***Guadagni*** findet. Eben so findet man die Auszierung in den nach dieser Bauart in andern oberitalienischen Städten, z. B. in ***Bologna,*** ausgeführten Palästen. Dies versucht mich sehr, zu glauben, dafs sie ehemals auch in den genannten Palästen ***Brunelleschi's*** vorhanden war, aber zerstört worden sei; und zwar aus dem einfachen Grunde, weil sie, wie der Augenschein in dem Innern der Paläste, wo sie sich befindet, zeigt, den Zimmern sehr viel Licht entzieht.

Ehe ich den Palast ***Rucellai*** verlasse, will ich noch bemerken, dafs ***Vasari*** von seinem Zeitgenossen ***Alberti,*** den er hinsichtlich seiner architektonischen Verdienste nicht sehr günstig beurtheilt, sagt, er habe zu der Ausführung seiner Bauwerke einen Architekten ***Silvester Fancelli*** zu Hülfe genommen. Ob dies derselbe Künstler sei, den ***Vasari,*** in gleichem Verhältnisse zu ***Brunelleschi,*** unter dem Namen ***Lucas Fancelli*** anführt, läfst sich nicht entscheiden.

Sollte man übrigens denjenigen Palast bezeichnen, der gewöhnlich als der erste Repräsentant der Florentinischen Bauart angesehen wird, so wäre der Palast ***Strozzi*** in ***Florenz*** zu nennen (Architecture Toscane pl. 15, 16, 17, 18). Es liefs ihn ***Philipp Strozzi,*** genannt ***der Alte,*** bauen und beauftragte mit dem Modelle dazu den Florentinischen Bildhauer und Architekten ***Benedetto da Majano,*** der aber während der Ausführung starb; worauf ***Simon Pollajuolo,*** genannt ***Cronaca,*** damit beauftragt wurde. ***Benedetto da Majano*** war 1444, also im Todesjahre von ***Brunelleschi*** geboren und starb 1498. ***Cronaca*** wurde 1454 geboren und starb 1509. Es waren also beide etwas ältere Zeitgenossen von ***Raphael,*** der 1483 geboren ist. Die Abbildung dieses Palastes in der Architecture Toscane ist nicht ganz treu, und ich habe, indem ich solche mit einer von mir selbst zur Stelle sorgfältig aufgenommenen Zeichnung vergleiche, zu bemerken, dafs der Fries unter dem Hauptgesims nur ungefähr halb so hoch ist, wie angegeben, und dafs ferner die Verhältnisse in der Anschauung weniger steil sich zeigen; was freilich mit daher kommt, dafs die Kranzgesimse wegen ihres beträchtlichen Vorsprunges, wenn man das Gebäude von unten ansieht, etwas von der Höhe jedes Stockwerks dem Auge entziehen. Aufserdem sind auch die Mauerquadrirungen nicht so sehr unregelmäfsig, wie sie im untern Stockwerke angegeben sind. Besonders ist zu erinnern, dafs die Überwölbungen der Fenster der beiden obern Stockwerke in ihrer Überhöhung nicht die Spitzbogenform haben, die sehr unharmonisch zu allen übrigen Formen sein würde, sondern dafs vielmehr die Überhöhung ebenfalls kreisförmig ist und dadurch hervorgebracht wird, dafs der Mittelpunct der äufsern Gewölblinie etwas höher liegt, als der der innern Bogen.

Die Anordnung dieses Palastes ist eigentlich, wenigstens in seiner äufsern Seite, sehr einfach. Die beiden obern Stockwerke haben jedes neun Bogenfenster, welche je zwei kleinere Bogen enthalten; das untere Stockwerk hat ein Bogenportal und acht rechteckige Fenster. Die Anordnung enthält kein Motiv, welches nicht schon in den obenerwähnten Palästen von ***Brunelleschi*** und ***Alberti*** vorkäme, man müfste denn das prächtige Dachgesims dazu rechnen, durch welches ***Cronaca,*** nach ***Vasari,*** ein antikes Gesims, das sich zu Rom in ***Spogliochristo*** befindet, nachgeahmt haben soll. Von ***Cronaca*** ist auch die Auszierung des innern Hofes des Palastes, der im untern Stockwerke mit corinthischen Säulen, welche Kreuzgewölbe und Kappengewölbe tragen, umgeben ist; wie sich dies auch schon in dem von

Brunelleschi erbauten Palaste ***Nicolini*** und in vielen andern Palästen von dieser Bauart findet: nach dem Vorbilde mittelalterlicher Paläste, welche diese Anordnung wohl schon von den ***Cavädien*** der antiken römischen Häuser erbten. Über den offenen Arcaden befinden sich dann in den Florentinischen Gebäuden dieser Zeit gewöhnlich mit Fenstern verschlossene Gänge zur Communication mit den Zimmern der Bel-Etage, während das dritte Stockwerk wieder offene, mit Holzverbindungen horizontal überdeckte Arcaden hat.

Ein Zeitgenosse von ***Majano*** und ***Cronaca*** ist ***Giuliano da Sangallo*** (nicht zu verwechseln mit dem spätern ***Antonio da Sangallo***). ***Giuliano*** ward 1443 geboren und starb 1517 (also drei Jahre vor ***Raphael***). Von ihm ist der Palast ***Gondi*** in ***Florenz*** (Architecture Toscane. pl. 51, 52, 53, 54 und 55), in demselben Architekturstyl wie ***Brunelleschi's*** Werke. Unter den Quadernwölbungen der Bogenfenster der beiden obern Stockwerke sind zunächst breite gegliederte Einfassungen, aber in den Fenstern sind keine kleinen Bogen-Abtheilungen. Merkwürdig ist an der Façade die Unregelmäfsigkeit der Stellung der Hausthüren. Der Palast hat sechs Fenster in den obern Stockwerken, im untern vier Fenster und zwei Hausthüren, deren eine unter dem dritten Fenster, die andere unter dem sechsten Fenster, also nicht regelmäfsig angebracht ist; was gar nicht gut aussieht. Wahrscheinlich hatte man den Plan, den Palast nach links noch um zwei Fenster zu verbreitern; sonst hätte man den Thüren leicht eine bessere Stellung unter dem zweiten und vierten Fenster geben können. Diese Anordnung führt auf eine Eigenthümlichkeit des Florentinischen Styls, die denselben sehr von der frühern mittelalterlichen Bauart unterscheidet. Es ist dies das schon von ***Brunelleschi*** ausgehende System, alle Fenster eines Stockwerks gleich grofs zu machen und alle in gleichen Zwischenräumen anzubringen. Der mittelalterliche Architekt baute die Façade gleichsam von Innen nach Aufsen: der Florentinische Architekt dieser Zeit mehr von Aufsen nach Innen; oder mit andern Worten: er ordnete erst die Façade nach bestimmten Gesetzen und Regeln an, und nöthigte dann die Grundrisse, sich danach zu fügen: ein System, welches leider! von ***Brunelleschi's*** Zeit an, durch alle Modificationen der modernen Bau-Arten, mit geringen Ausnahmen, bis in die unsrige gewährt hat, wo erst einzelne geniale Architekten sich davon loszumachen streben. Es ist zwar nicht zu läugnen, dafs eine solche Regelmäfsigkeit einen gewissen Effect macht, eben wie eine Fronte eines vollkommen gleichförmig gekleideten und armirten Regiments, aber das System führt auch, wenn man es auf alle Gebäude-

Arten anwendet, zu einer Einförmigkeit, die um so weniger erfreulich ist, da sie die innere Einrichtung der Gebäude tyrannisirt, und sie zwingt, Opfer zu bringen, die zu dem Uniform-Effecte in keinem Verhältnisse stehen. Am wenigsten pafst das System für Wohngebäude, mit ihren mannichfaltigen Zwecken und Bedürfnissen. Nur Gebäude und Gebäudetheile, welche ebenfalls einförmig sind, sollten danach geordnet werden; wo denn der Effect auch durch den Begriff der Zweckmäfsigkeit erhöht werden würde. So ist die regelmäfsige Anordnung einer Säulenhalle und einer Galerie sehr schön, und ohne Veränderung des Motivs ist es nicht passend, die Form zu ändern. Deshalb thut denn die Regelmäfsigkeit der innern, mit Säulenhallen und Galerien eingefafsten Höfe der Florentinischen Gebäude ungemein wohl, und eben der Palast *Gondi* hat einen zwar kleinen aber sehr zierlichen und schönen Hof.

Wenn man alle merkwürdigen Gebäude von dieser Bau-Art beschreiben wollte, würde viel Raum nöthig sein. Ich will also nur noch des Palastes *Riccardi* in *Florenz,* des Hofes des sogenannten *alten* Palastes daselbst und des Palastes *Piccolomini* und *Spannochi* in *Siena* gedenken.

Der Palast *Riccardi,* einer der gröfsten von dieser Bauart (Architecture Toscane pl. 39, 40, 41, 42 und 43), hiefs ursprünglich Palast *Medici* und wurde von *Cosimus I.* von *Medici* zu erbauen angefangen. Man hält ihn für ein Werk von *Michelozzo Michelozzi,* der in der Mitte des funfzehnten Jahrhunderts lebte. Die Architektur dieses Palastes ist der des Palastes *Strozzi* sehr ähnlich; sowohl im Äufsern der Façade, als in der sehr eleganten Anordnung und Auszierung des Hofes. Ursprünglich ging der Palast nur bis zum zehnten Fenster, so dafs sein grofser Eingang ziemlich in der Mitte war. Die in den übrigen, dem Thorbogen entsprechenden Wölbungen angebrachten, mit architektonischen Gliederungen reich verzierten Fenster sollen von *Michel Angelo Bonarroti* angegeben sein. Das Dachgesims der Façade ist ungemein schwerfällig, und die Hälfte seiner Höhe und Ausladung hätten ihm genügt. Wenn man annimmt, dafs es massiv aus Steinen sei, sieht man kaum ein, wie die Mauern des Palastes es zu tragen vermögen.

Der Palast *Piccolomini* in *Siena* (Architecture Toscane pl. 89, 90 und 91) erinnert lebhaft an den Palast *Riccardi* und *Strozzi,* und die Auszierung der Fenster der obern beiden Stockwerke sehr an diejenige der Fenster des Palastes *Rucellai* von *Alberti;* so dafs die gemeinschaftliche Schule seines Architekten, für welchen man *Francesco di Giorgio* hält, der am Ende des funfzehnten Jahrhunderts baute und also Zeitgenossen von *Majano,*

Cronaca, Julian von San Gallo, Alberti und ***Michelozzo*** war, nicht zu verkennen ist. Diese Schule war die Nachahmung der Werke ihres unmittelbaren Vorgängers ***Brunelleschi,*** unter fortgesetztem Studium der Überreste antiker römischer Baukunst; welche Überreste aber nicht in Wohnhäusern und Privatgebäuden bestanden (denn dergleichen existirten schon damals nicht mehr, und ***Pompeji*** war noch nicht ausgegraben), sondern in Fragmenten von Tempeln, Triumphbogen, Foren, Thermen und andern öffentlichen Gebäuden.

Sehr ähnlich der Architektur des Palastes ***Piccolomini*** ist die des Palastes ***Spannochi*** in ***Siena*** (Architecture Toscane pl. 94). Die Verfasser der Architecture Toscane schreiben diesen Palast, eben so wie die schöne Halle ***Piccolomini*** in ***Siena*** (pl. 95) dem ***Francesco di Giorgio*** zu. ***Von Rumohr*** will, in den „Italienischen Forschungen II. Th. S. 193", alle die vorbenannten Gebäude zu ***Siena*** dem ***Bernardo Rossellini*** zuschreiben; aber die Gründe dafür sind so wenig entscheidend, dafs sie kaum eine Vermuthung für ***Rossellini*** und keine Gewifsheit geben. Sehr glaublich ist es jedoch, dafs die genannten Paläste einem und demselben Meister zuzurechnen sind, da ihr Architektur-Styl durchaus übereinstimmend ist. Dabei gehören sie ohne Zweifel zu den besten Werken dieser Bauart.

Noch gedenke ich des Hofes des ***Palazzo vechio*** in ***Florenz*** (Architecture Toscane pl. 32), welchen ***Michelozzo Michelozzi*** restaurirte, so wie auch den ganzen Palast, der aber erst im Jahre 1565, also etwa Hundert Jahre später, bei Gelegenheit der Verheirathung von ***Peter Franz Medici,*** dem Sohne von ***Cosimus I.***, mit der Schwester des Kaisers ***Maximilian,*** seine prächtige Verzierung erhielt, die also schon der zweiten Periode der Renaissance angehört. Die Säulen des Hofes, welche die Gewölbe der Halle tragen, sind mit weifsen Stuck-Verzierungen auf Goldgrund bedeckt; die Gewölbe der Hallen sind mit farbigen Arabesken auf weifsem Grunde geschmückt. Die Waffentrophäen in den Stirnen der Bogenhallen sind golden, so wie auch die Lilien und Einfassungsstäbchen an den äufsern Mauerflächen der obern Stockwerke, welche die Quadern-Abtheilungen der schwarzen Mauern bilden, während sich die goldnen Lilien auf azurblauem Grunde absetzen: eine Pracht, von welcher die zweite Periode der Renaissance viele Beispiele liefert.

Dafs ich bis hierher aus der ersten Periode der Renaissance nur Beispiele von profanen Gebäuden erwähnt habe, liegt daran, dafs sie, durch bürgerlichen Wohlstand hervorgerufen, auch an bürgerlichen Wohngebäuden am meisten sich zeigte. Indessen fehlt es auch nicht an Denkmälern Florentinischer Bauart an

geistlichen Gebäuden. ***Brunelleschi*** ist berühmt durch die von ihm angegebene Überwölbung der ***Tribüne*** (so nennen die italienischen Architekten die erhöhten Wölbungen in der Mitte des Kreuzes der Kirchen, wo gewöhnlich der Haupt-Altar steht) der Hauptkirche von ***Florenz, Santa Maria del Fiore*** genannt; welche Überwölbung übrigens nicht so sehr durch ihr System der Construction, als durch ihre colossale Gröfse und dadurch, dafs sie auf ihrem Scheitel ein Thürmchen oder eine sogenannte Laterne trägt, bemerkenswerth ist. Die Tribüne wird im Grundrifs durch ein Achteck von 42 Meter innern Durchmesser gebildet, und allerdings entstehen bei solchen Dimensionen in der Ausführung Schwierigkeiten, von welchen der Architekt bei Werken im Kleinen nichts ahnet. Die Aufstellung von kleinen Thürmen oder Laternen auf die Scheitel der Kirchenkuppeln wurde von jener Zeit an allgemein.

Ein gröfseres Interesse haben die nach den Angaben von ***Brunelleschi*** erbauten Kirchen ***San Spirito*** und ***San Lorenzo*** in ***Florenz***. Bei denselben leuchtet offenbar ein Studium der altrömischen Basiliken hervor, deren Vorbild allerdings auch die bessern christlichen Kirchen in keinem Zeit-Alter verlassen hat. (In der Architecture Toscane finden sich pl. 75 und 76 Abbildungen von ***San Spirito*** und pl. 84 ein Grundrifs von ***San Lorenzo***.) Die Architektur beider Kirchen hat einen ernsten und strengen Charakter. Sie ist dabei harmonisch und zweckmäfsig; und wenn auch noch einzelne Verhältnisse an die Spitzbogengewölbe-Bauart erinnern, so scheidet sie sich doch im Ganzen so sehr von derselben ab, dafs man die Selbstständigkeit eines Architekten, der sie schuf, bewundern mufs.

Ich möchte nun, ehe ich diese erste Periode der Wiedergeburt der alten römisch-griechischen Baukunst schliefse, noch einen Rückblick auf ihren allgemeinen Charakter und Geist werfen.

Vor allen will ich noch einmal darauf aufmerksam machen, dafs die antiken Gebäude, deren Studium sie wieder hervorrief, grofsartige Überreste von bedeutenden öffentlichen Bauwerken, von Tempeln, Triumphbogen, Foren, Mausoleen, Theatern, Thermen und andern dergleichen Monumenten waren, deren Nachahmung man vorzüglich auf die Wohngebäude reicher Bürger, welche die Künste und die Pracht liebten, anwendete. Man mufs daher ja nicht etwa glauben, diese nach antiken Architekturmotiven erbauten Florentinischen Häuser wären antiken römischen oder griechischen ***Häusern*** im mindesten ähnlich: nichts Unähnlicheres, als ein Pompejanisches Haus und ein Florentinisches. Es liefse sich höchstens sagen, dafs die mit Säulen umgebenen Höfe der

Florentinischen Häuser eine entfernte Erinnerung an die Cavädien der antiken Häuser gäben; bei näherem Vergleich sind sie aber doch davon wesentlich verschieden. Die Florentinischen Höfe finden mehr ihr Vorbild in den Höfen mittelalterlicher Gebäude, die freilich mit Reminiscenzen antiker Häuser in Beziehung stehen.

Diese Nachahmung öffentlicher Gebäude bei Wohngebäuden ist denn auch die Ursache, dafs letztere einen gewissen ernsten, grofsartigen Charakter bekommen haben, der ihren Erbauern, den reichen und stolzen Handelsherrn, die mit ihren Reichthümern Fürsten und Päpste unterstützten und sich ihnen gleich dünkten, wohl schmeicheln mochte, der aber eigentlich für das bürgerliche Wohnhaus nur theilweise pafst: ich sage theilweise, denn es schliefst sich daran ein gewisser Ausdruck von Solidität und Dauerhaftigkeit, der auch bei dem bürgerlichen Wohnhause sehr wohlthut und der in der Florentinischen Bauart, besonders durch die durchaus vorherrschende Quadern-Construction und die auf grofse Dauer berechneten Verhältnisse hervorgebracht wird. Dabei haben die meisten der Paläste sehr hohe, massive Stockwerke, und dazu verhältnifsmäfsig kleine Fenster, stark profilirte Gesimse und Gliederungen.

Eben so ist die schon oben berührte Militair-Uniformität der Florentinischen Bauart eine Folge der Nachahmung derjenigen grofsen öffentlichen Gebäude der Alten, wo die Gleichförmigkeit durch die Uniformität des Zwecks, z. B. bei dem Colosseum, dem Theater des Marcellus, dem Mausoleum des Augustus, oder des Hadrians u. s. w. hervorgerufen wurde. Wie ganz anders würden die Florentinischen Paläste geworden sein, wenn *Brunelleschi* und seine Nachfolger *Pompeji* auch nur so weit gekannt hätten, wie wir es jetzt kennen.

Schon in der heitern Sonne des Südens sehen die Florentinischen Paläste von aufsen schwerfällig und finster aus: in dem kalten, düstern Sonnenlichte des Nordens würde es noch mehr so sein. Freilich liegt dieser finstere Charakter auch darin, dafs die Gebäude bei den häufigen bürgerlichen Unruhen in Florenz und in den gröfsern oberitalienischen Städten öfters ihren Besitzern zum Schutz gegen Aufläufe und feindliche Angriffe dienen mufsten; es rühren daher auch die überaus massiven untern Stockwerke, mit ihren noch dazu stark vergitterten kleinen, fast nur quadratischen Fenstern. Auch die geringe Gröfse der Fenster der obern Stockwerke mag damit in Verbindung stehen.

Alles dies ist daher nicht sehr nachahmenswerth; wenigstens nicht bei Wohngebäuden; weit mehr aber ist es die innere Einrichtung der Florentinischen

Paläste: das schöne geschlossene Ganze, welches jeder Palast für sich macht, die zweckmäfsige Anordnung von Säulenhallen, Gängen, Treppen, Sälen und Zimmern, und dabei die Schönheit der Formen und Verhältnisse und der sehr geschmackvollen Verzierungen.

Die charakteristische Form der Bogenfenster der obern Stockwerke, mit ihrer Unter-Abtheilung in zwei kleinere Bogen, dürfte ebenfalls nicht unbedingt nachahmungswerth sein; man glaubt nicht, wie dunkel sie die Zimmer lassen, welche sie erhellen sollen, sie müfsten wenigstens so modificirt werden, wie an den Venetianischen Palästen, wo sie verhältnifsmäfsig breiter sind und wo die Räume zwischen den innern kleinen Bogen und dem grofsen äufsern Bogen auch durchbrochen sind und also zur Erhellung dienen.

Zweite Epoche der Wiedergeburt der römisch-griechischen Baukunst unter *Bramante, Raphael Sanzio* und ihren Schülern.

Kein Architekt, der die Wunderwerke dieser Epoche gesehen hat und sich dieselben zu vergegenwärtigen vermag, wird sich dabei eines Schauers der Begeisterung erwehren können, und sollte er auch in dem Augenblicke unter einem mit fufshohem Schnee bedeckten Dache sitzen und in einen löschpapiernen Himmel blicken.

O wunderbare Zeit, wo Genien wie *Raphael* und seine Schüler durch die Kunstwelt schwebten und Denkmäler hinterliefsen, die durch alle Zeiten in Ehren sein werden, wo Cardinal *Bembo* dem grofsen Meister auf den Grabstein schreiben konnte: „Dafs die Natur bei seinem Leben fürchtete, besiegt „zu werden und bei seinem Tode, zu sterben!" Die bekannte Grabschrift lautet:

Ille hic est Raphael, timuit quo sospite vinci
Rerum magna parens, et moriente mori.

In dieser Epoche ist aber nicht mehr *Florenz* der Hauptschauplatz ihrer Productionen, sondern *Rom;* denn der Reichthum der italienischen Bürger war in die Schatzkammern der Kirche geflossen, die es nicht gestatten mochte, dafs ihre Tempel und Hallen an Pracht und Schönheit den Wohnhäusern reicher Kaufleute nachstanden; dafs der Papst schlechter wohne, als Florentinische und Venetianische Groshändler.

Dennoch kamen die Keime dieser römischen Kunstblüthen aus *Toscana.* Der Papst *Julius II.* liefs den Architekten *Donato Bramante* aus *Urbino* nach Rom kommen, um ihn dort mit den bedeutendsten Werken zu beschäftigen. *Bramante* aber brachte seinen Verwandten *Raphael,* der in Florenz seine

Kunst übte, nach Rom, und ***Bramante*** entwarf den ersten Plan der Peterskirche und denjenigen des Vaticanischen Palastes, welchen ***Raphael*** weiter baute.

Bramante war nach ***Vasari's*** Angabe im Castell ***Durante*** im Staate von ***Urbino***, nach ***Baldi*** aber in ***Fermignano***, fünf Meilen von Urbino, geboren. Sein Geburtsjahr giebt ***Vasari*** direct nicht an, aber er sagt, dafs ***Bramante*** 70 Jahre gelebt habe und im Jahre 1514 nach einem prächtigen Leichenbegängnisse, dem der Hofstaat des Papstes, so wie alle Bildhauer, Architekten und Maler beiwohnten, in der Peterskirche beigesetzt worden sei. Es war im Jahre 1503, als ***Julius II.*** den ***Bramante*** nach Rom kommen liefs, um denjenigen Theil des Vaticanischen Palastes, den man das ***Belvedere*** nennt, mit dem der Peterskirche näher liegenden Theile zu vereinigen. ***Bramante*** hatte sowohl die altrömischen Bauwerke, als auch die Gebäude ***Brunelleschi's*** studirt, und es ist zu bemerken, dafs sich seine Productionen im Style denen von ***Brunelleschi*** und ***Alberti***, nicht aber den Eigenthümlichkeiten ihrer Schüler anschlossen.

Das Project ***Bramante's*** zur Vereinigung des Belvedere und desjenigen Theils des Vaticans, wo jetzt die Loggien und Stanzen ***Raphaels*** sind, wurde bei ***Bramante's*** Lebzeiten nur zum kleineren Theil ausgeführt und späterhin vielfältig verändert; allein die grofsartige Idee dieser Vereinigung durch zwei Corridore, jeder 400 Schritte lang, war doch ein Verdienst ***Bramante's***.

Gau und ***Liman*** haben in der von ihnen 1817 in Rom herausgegebenen, wenig bekannten aber sehr interessanten Abbildung des Vaticanischen Museums (Museo Vaticano Roma presso Pietro Manna in via di campo Marzo Nro. 67) von dem Bramanteschen Project eine Restauration wiederzugeben versucht und dabei eine alte Handzeichnung aus der Bibliothek der ***Corsini*** benutzt. Man sieht darin eine entschiedene Nachahmung altrömischer Architektur. Die der Corridore ist eine Nachahmung der Bauart des römischen Colosseums, und in der grofsen Nische, die den Hintergrund des obern Hofes bildet, erkennt man die Exedren der alten römischen Bäder sogleich wieder; der derselben im untern Hofe gegenüberstehenden Theatergradinen nicht zu gedenken. ***Vasari*** erzählt, dafs ***Bramante*** das Mauerwerk am Belvedere mit der gröfsten Schnelligkeit habe ausführen lassen; und seine Bauwuth (furia), so wie die des Papstes, war so grofs, dafs man die Gebäude nicht aufmauern, sondern emporzaubern wollte, so dafs die mit der Fundamentirung beauftragten Leute (um dieser Bauleidenschaft zu entsprechen) des Nachts Sand oder lockere Erde herbeischafften, dann in den (noch nicht genügend

tiefen) Aufgrabungen eine Lage Felsenboden oder festen Erdboden feststiefsen, mit dem Sande sie füllten und diesen dann am Tage in *Bramante's* Gegenwart wieder heraushoben, worauf er, als er den scheinbar festen Grund sah, sogleich darauf mauern liefs. So geschah es, dafs das Gebäude viele Risse bekam und einzustürzen drohte; wie denn auch wirklich unter Papst *Clemens VII.* ein Stück Corridor von achtzig Ellen (braccia) lang zur Erde fiel.

Dagegen sind nun aber mehrere andere Werke *Bramante's,* von vollkommnerer Ausführung, in Rom noch wohl erhalten. Als die vorzüglichsten derselben werden gewöhnlich der Palast der *Cancellaria* und der Palast *Giraud* auf dem Platze *S. Giacomo Scosciacavalli,* nicht weit von der Peterskirche, angesehen. Letzterer sollte Palast *Corneto* heifsen, weil ihn der Cardinal *Hadrian* von *Corneto* erbauen liefs und es in Rom Sitte ist, die Gebäude nach dem Namen ihrer ersten Erbauer, nicht nach dem Namen Derjenigen, welche sie später kaufen, oder erben, oder sonst erwerben mochten, zu benennen. Das gröfste Werk *Bramante's* ist aber der erste Entwurf zur *Peterskirche.*

Von dem Palaste *Giraud* findet sich eine Abbildung in *Percier's* und *Fontaine's* Werk: *Palais, Maisons et autres Édifices modernes dessinés à Rome. A Paris chez les auteurs et chez P. Didot l'aîné. pl.* 27, so wie vom Palast der *Cancellaria* daselbst pl. 75 und 76. Ich mufs bevorworten, dafs man die Architektur *Bramante's,* so wenig als die der Florentinischen Architekten, deren ich oben erwähnte, nicht blofs nach den Façaden der Gebäude, sondern auch wesentlich nach der innern Einrichtung derselben, also nach ihren Grundrissen und Durchschnitten beurtheilen sollte. Dann kann ich auch nicht umhin, mich hier der Behauptung eines geistvollen Malers, dafs auch die besten Kupferstiche sich zu den Bildern verhalten, wie die Landcharten zu den Ländern, zu erinnern. Zwischen den besten Gebäude-Abbildungen im Kupferstich, und den Gebäuden selbst, ist ungefähr dasselbe Verhältnifs. Besonders ist es aber bei Gebäuden aus dieser Kunst-Epoche der Fall. Die schöne Bearbeitung des Baumaterials, die Reinheit der Formen und der Gliederungen, können im Kupferstiche nicht wiedergegeben werden. Dazu kommt, dafs die meisten architektonischen Abbildungen nicht perspectivisch, sondern geometrisch sind; während Architekten, wie *Bramante,* schon zu denen gehören, welche die Wirkungen, die durch die perspectivische Verkürzung und durch die Verdeckung durch vorstehende Gliederungen u. dergl. entstehen, wohl zu berücksichtigen wufsten.

In dem Palaste *Giraud* sieht man am meisten die Verwandtschaft mit den Werken von *Brunelleschi* und *Alberti*. Man vergleiche z. B. denselben mit dem Palast *Rucellai* in *Florenz* von *Alberti*. *Bramante* hatte ohne Zweifel bei der Conception des Palastes *Giraud* etwas dem Palast *Rucellai* Ähnliches im Sinne. Aber sein gewissenhafteres Studium der antiken Baukunst lehrte ihm, dafs die Stellung der Pilaster auf den Hauptgesimsen, mit seinen antiken Vorbildern, zu denen, wie erwähnt, besonders das Colosseum gehörte, nicht übereinstimmte; er supplirte daher das Piedestal als durchgehende Brüstung; wie an jenem Vorbilde. Dadurch wurde aber nun die durch die nicht zu übertreibende Höhe der Zimmer bedingte Höhe der Säulen so gering, dafs sie nach antiken Verhältnissen nur eine sehr geringe Dicke bekommen konnten. Solche kleine Säulen, wenn sie, wie die stärkeren am Palast *Rucellai,* einzeln gestanden hätten, würden sehr schwächlich ausgesehen haben: also fafste *Bramante* die Idee, die Säulen paarweise zu stellen, um sie so durch Verdoppelung in den Stand zu setzen, das Gewicht zu tragen, was sie, wenigstens dem Scheine nach, tragen müssen. Die starke Bauart der untern Stockwerke der Florentinischen Paläste hat *Bramante* noch bei dem Palast *Giraud* beibehalten, bei dem Palast der *Cancellaria* aber aufgegeben. An jenem Palaste sind auch im untern Stockwerke die viereckigen Fenster beibehalten, an diesen dagegen Rundbogen an ihre Stelle getreten. Die Rundbogenfenster zeigen sich aber an beiden Palästen in einer andern, schönern und der antiken Architektur mehr entsprechenden Ausstattung; die innere Ausfüllung mit doppelten Bogen der Florentinischen Bauart verschwindet, die Fenster sind mit Gliederungen, welche antiken Formen und Verhältnissen mehr entsprechen, eingefafst und haben Verdachungsgesimse. Die Einzelheiten dieser Fensterverzierungen sind sehr geschmackvoll und schön, und scheinen, wenigstens in dieser Zusammenstellung, eine Erfindung *Bramante's* zu sein, welche späterhin tausendfältig wiederholt worden ist. Es ist aber auch eines Mifsklanges in der Anordnung dieser Paläste zu erwähnen, dessen zwar *Bramante* nicht allein sich schuldig gemacht hat, der aber bei den beiden erwähnten Palästen besonders auffällt; dies ist die Vereinigung mehrerer niedrigen Stockwerke in der Form eines einzigen; wie dies im dritten Stockwerke (oder der zweiten Etage) beider Häuser geschehen ist.

Man findet schon in der italienischen mittelalterlichen Bauart häufig, dafs das dritte Stockwerk viel kleinere Fenster hat, als das zweite (die sogenannte Bel-Etage), auf die Weise, wie (um ein sehr bedeutendes Beispiel

anzuführen) am Dogenpalaste zu *Venedig*, oder, in kleinerem Maafsstabe, am Palaste *Mandruzzato* in *Padua*. Aber an diesen und andern mittelalterlichen Gebäuden zeigt sich die Anordnung der obern Stockwerke, welche Zimmer von geringerer Pracht und Gröfse, wie die des zweiten Stockwerks andeuten, nicht unter der Maske einer einzigen grofsartigen Gemächerreihe; wie denn das obere Stockwerk der *Cancellaria*, welches im Innern zwei niedrige Stockwerke enthält, noch höher und grofsartiger verziert ist, als die Bel-Etage. Es ist also diese grofsartige Verzierung eine Unwahrheit: ein Widerspruch mit Dem, was sie eigentlich vorstellen soll: ein Fehler, den man nicht nachahmen sollte, der aber von nichts Anderem kommt, als dafs *Bramante* bei dieser architektonischen Anordnung antike öffentliche Gebäude, wie das *Colosseum*, das Theater des *Marcellus* u. s. w. zum Vorbilde nahm, antike Wohngebäude aber nicht kannte, wo freilich die Façaden überhaupt wenig bedeuten, alle Architektur indessen immer ihren wirklichen Zweck auch wirklich ausdrückt.

Die innere Einrichtung dieser Bramanteschen Paläste ist übrigens derjenigen der beschriebenen Florentinischen Paläste sehr ähnlich. Ihr Grundrifs ist ein Rechteck, mit einem, von schönen Säulenhallen umgebenen Hofe im Innern; welche Hallen die Zugänge zu den Zimmern und Sälen an den äufsern Seiten des Rechtecks bilden: eine schöne, in der italienischen Bauart aller Zeiten für Wohngebäude (wozu natürlich auch Klöster zu rechnen sind) normal gewordene Anordnung. Der Palast der *Cancellaria* enthält, aufser der incorrecten Verzierung des obern Stockwerks, auch noch eine andere Unwahrheit in der Façade; nemlich die, dafs sie hinter Fenstern und Stockwerken eines Wohngebäudes die *Kirche* von *San Lorenzo in Damaso* verbirgt. Als nemlich *Bramante* den Palast erbaute, war er genöthigt (vermuthlich um einen hinreichend grofsen Bauplatz zu gewinnen) die alte Basilica *San Lorenzo*, vom Papste *San Damaso* erbaut, abbrechen und neu erbauen zu lassen; wo er denn auf den Gedanken kam, die Façade der neuen Kirche hinter derselben Architektur, wie die des Palastes, zu verbergen. Es offenbart sich hierdurch schon bei *Bramante* das Princip der Charakterlosigkeit der Architektur, welches so sehr der Antike entgegen ist und später noch zu so mannichfachen Verirrungen geführt hat. Man darf dieses Princip wohl so scharf bezeichnen, wie es so eben hier geschehn.

Hinsichtlich der schönen Einzelnheiten der beiden Paläste ist noch zu bemerken, dafs die jetzige Haupt-Eingangsthür des Palastes *Giraud* bei Lebzeiten *Bramante's* nur aus dem Rauhen bossirt wurde (vermuthlich um während

des Baues die feinere Ausarbeitung gegen Beschädigungen zu sichern). Die jetzige Thüre ist eine moderne Arbeit. (In der „Architecture Toscane" ist eine andere Thüre, welche ***Rossi*** in seinen „***Palazzi di Roma***" angiebt, eingezeichnet.) Eben so sind die Thüren an der ***Cancellaria*** (vielleicht aus gleichem Grunde) nicht von ***Bramante;*** vielmehr ist die eine, an der Kirche, von ***Vignola,*** die andere, am eigentlichen Palaste, von ***Domenico Fontana.***

Den höchsten Ruhm, den ***Bramante*** sich erwarb, verdankt er immer seinem Projecte zu dem gröfsten Gebäude aller Länder, der ***Peterskirche.*** Dieselbe ist zwar nicht speciell danach ausgeführt, vielmehr ist ***Bramante's*** Project von jedem Architekten, der nach ihm den Bau fortsetzte, modificirt und endlich von ***Michel Angelo Bonarrotti*** auch wesentlich verändert worden: aber die grofse Grund-Idee der Erfindung des Ganzen rührt doch einmal von ***Bramante*** her, unbeschadet Dessen, was auch vielleicht dem grofsen Bauherrn ***Papst Julius II.*** davon zukommen mag.

Durand giebt in seinem „Recueil et Parallele des Édifices anciens et modernes" auf der eilften und zwölften Tafel von dem Projecte ***Bramante's,*** dem von ***Michel Angelo Bonarrotti*** und der gegenwärtigen Gestalt der Kirche Rechenschaft. Das eigentlichste classische Werk über die Peterskirche ist aber das Buch von ***Carl Fontana,*** „Templum vaticanum", aus welchem ***Durand's*** Darstellungen entlehnt sein dürften.

Die Peterskirche wurde 1510 (also zehn Jahre vor ***Raphaels*** Tode) zu bauen angefangen und 1721 unter Papst ***Clemens XI.*** so weit, wie sie es jetzt ist, vollendet. Es baueten an ihr, in sehr verschiedenen Zeiten, ***Bramante, Giuliano da Sangallo, Fra Giocondo, Raphael, Antonio da Sangallo, Balthasar Peruzzi, Bonarrotti, Pirro Ligorio, Vignola, Giacomo della Porta, Domenico Fontana, Carl Maderno*** und ***Bernini.*** Es kann also dieses Gebäude nicht als Repräsentant einer einzelnen Kunst-Epoche angesehen werden. Hier interessirt uns besonders nur ***Bramante's*** Project.

Im Allgemeinen erkennt man darin sogleich eine Reminiscenz an die Domkirche von ***Florenz,*** deren Kuppel ***Brunelleschi*** im Jahre 1425 erbaute. Die Nachahmung dieser Kirche, deren riesenmäfsige Verhältnisse man noch übertreffen wollte, ist auch wohl die Ursache, dafs ***Bramante*** der Peterskirche solche übertrieben colossale Verhältnisse gab: dennoch ist der innere Durchmesser der Kuppel der Peterskirche nur um wenige Fufs gröfser, als der der Florentinischen Domkirche. Die colossalen Verhältnisse waren aber eigentlich, wie ich schon an anderm Orte erwähnt habe (in der Instruction für

junge Architekten zu Reisen in Italien in diesem „Journal für die Baukunst Bd. 11. und 12.“), eigentlich nichts *geistig* Grofses. Eine nach der Hälfte der linearischen Maafse erbaute Kirche würde kein geringeres Verdienst architektonischer Erfindung gehabt und nicht den vierten Theil gekostet haben. Aber die Riesengröfse ist in dem Grade, wie sie Statt findet, nicht ***Bramante's*** Schuld, sondern liegt besonders in der innern und äufsern Decoration durch eine colossale corinthische Säulenstellung, die völlig aufser allem Verhältnifs zu der Gröfse des menschlichen Körpers ist. Eben dieses Verhältnifs ist gleichwohl zu beachten nöthig, und darf nie ohne Gefahr verletzt werden. So giebt z. B. die Höhe einer der menschlichen Gestalt angemessene ***Brüstung***, die *mindestens* drei Fufs und *höchstens* vier und einen halben Fufs betragen darf, die Maafsgabe für die Höhe eines Säulenpiedestals; das Piedestal der vorhin erwähnten corinthischen Säulenstellung wird aber, nach antiken Verhältnissen zur Säulendicke, etwa vier und zwanzig Fufs hoch, wie es auch nach diesem Maafse auswendig am Gebäude vorkommt, so dafs Menschen, die zu dieser Architektur im Verhältnifs stehen sollten, mindestens Hundert acht und zwanzig Fufs hoch sein müfsten. Solche Figuren würden dann doch aber wieder in der Peterskirche einige Schwierigkeiten finden, da die Hauptthüre, wenn gleich in Beziehung zu ihrem Zweck schon sehr hoch, doch noch nicht die Hälfte jener Höhe hat.

Aber ***Bramante*** hat die unverhältnifsmäfsige Säulenreihe wenigstens nicht im Innern der Kirche anbringen wollen, und seine Formen und Verhältnisse sind überhaupt einfacher und edler, und gleichwohl effectvoller, als diejenigen der wirklichen Ausführung; auch sind die unermefslichen Höhen des Gebäudes in ***Bramante's*** Project etwas gemäfsigt.

Wer das Glück hat, in Rom gewesen zu sein, oder noch dahin zu kommen, vergleiche einmal die Wirkung, welche der Anblick des Innern der ***Peterskirche*** auf ihn macht, mit demjenigen des Innern des ***Pantheon,*** und er wird es für unmöglich halten, dafs das Pantheon nicht weit gröfser im Grundrifs und nicht viel kleiner im Höhenmaafse sei, als der Kuppelraum oder die sogenannte Tribüne der Peterskirche: gleichwohl haben beide Kuppeln dieselbe Weite im Grundrifs, und die innere Höhe des Pantheons beträgt nur ungefähr Zweifünftel von der innern Höhe der Peterskirche (die Laterne, in die man sieht, nicht mitgerechnet). Aber der Architekt des Pantheon hat sich auch vor einer solchen übermäfsig colossalen Säulenstellung, wie an der Peterskirche, wohl gehütet.

Die nächste Ursache der Veränderung des ***Bramanteschen*** Projects durch seine Nachfolger soll gewesen sein, dafs man die vier Mittelpfeiler, welche die Kuppel tragen sollten, nicht für hinreichend stark hielt; was sie indessen, wenn die Verbindungen der Tribüne mit den Seiten und Quer-Navaten (Schiffen) richtig und aus festem Material construirt wurden, ganz wohl sein möchten.

Ich bin geneigt, hier eine Ursache zu vermuthen, welche nicht selten bei gröfseren Bauwerken vorkommen möchte und welche von grofsem practischen Interesse ist. Wer nemlich einen colossalen Bau auszuführen gehabt hat, wird, wenn er nicht etwa durch eine ältere Erfahrung schon zeitig gewarnt ist, gar bald in Verlegenheit wegen des ***Steinmaterials*** kommen; die vorhandenen Steinbrüche werden nicht hinreichen, um genügend nachfahren zu können und man wird sich nicht anders helfen können, als dafs man die Brüche vergröfsert und neue anlegt. Dabei bekommt man dann gewöhnlich eine grofse Masse kostspieligen Abraumes und ist froh, wenn man endlich zum wirklichen Steine gelangt. Nicht jeder Architekt mag aber den wesentlichen Unterschied zwischen der Festigkeit der untern Steinlagen und der bei den meisten Steinlagen sehr viel geringeren rückwirkenden Festigkeit der obern Lagen hoch genug anschlagen; und dann kommen unglücklicher Weise diese neuen Steine aus den obern Bruchlagen in die untern Fundamente und Mauerschichten des Gebäudes, wo sie gerade die gröfste Last zu tragen haben. So mag es auch bei der Fundamentirung der Peterskirche gewesen sein, und es ist wohl möglich, dafs auf diese Weise die Pfeiler, schon ehe sie ihre gröfste Höhe erreichten, ihr eigenes Gewicht nicht mehr tragen konnten und Risse und Absprünge sich zeigten, die ihre Unfähigkeit, ein Gewicht wie das der Kuppel zu tragen, verrathen mochten.

Doch genug: die Peterskirche ist demungeachtet der Haupt-Anhalt der Renaissance für die kirchlichen Gebäude geworden, und davon liegt der Grund in dem grofsartigen Gedanken der Kreuzesform mit ihren grandiosen Wölbungen; besonders dem Kuppeldom über der Mitte des Kreuzes. Indessen gehört dieser Gedanke eigentlich mehr der Spitzbogengewölbe-Architektur des Mittel-Alters, als der antiken römischen Bauart an; wenn gleich es wahr ist, dafs die letztere dazu die erste Anregung in den antiken Basiliken fand.

Mit ***Bramante*** beginnt nun auch die prächtige Nachahmung antiker architektonischer innerer Verzierungen. Man glaubt, dafs dazu besonders die Aufgrabung der verschütteten und noch in reicher Verzierung erhaltenen Zimmer

und Hallen der Bäder des *Titus* den Impuls gab; und in der That ist die prächtige Decoration dieser Kunst-Epoche nichts anderes als eine Vereinigung der mittelalterlichen Pracht und Sinnigkeit der Werke von *Cimabue, Giotto, Pietro Perugino* u. a. mit den graziösen Arabesken des römisch-griechischen Alterthums; wodurch nach meiner Meinung etwas hervorgebracht wurde, was Mittel-Alter und Antike übertraf.

Als solche Werke möchte ich zunächst die höchst prächtige innere Verzierung der von *Bramante* erbauten Kuppel der Kirche *Santa Maria del popolo* in *Rom* und der Verzierung der *Libreria* am Dome zu *Siena* erwähnen, welche letztere ich mit jener für gleichgültig halte, und die auch sichtlich im Style ihr ähnlich ist. Von der *Libreria* findet sich eine Abbildung in der oft angeführten „Architecture Toscane" pl. 97, welche freilich, in Umrissen von kleinem Maafsstabe, nur eine sehr ungenügende Vorstellung von den durch die gröfste Farbenpracht und Vollkommenheit der Zeichnung höchst ausgezeichneten Verzierungen geben können.

Die *Libreria* liefs Pabst *Pius II. (Aeneas Sylvius Piccolomini)* gegen das Ende des funfzehnten Jahrhunderts einrichten. Dessen Neffe *Pius III. (Franz Piccolomini)* liefs sie mit Malereien verzieren. *Pius II.* wurde gekrönt im Jahre 1458, und *Pius III.* im Jahre 1503; zwischen ihnen waren vier andere Päpste. *Vasari* schreibt ihre Verzierung mit historischen Bildern und Arabesken mit gröfster Bestimmtheit dem *Bernardino Pinturichio* zu, sagt aber, dafs demselben sein Freund und Mitschüler bei *Pietro Perugino, Raphael Sanzio,* namentlich durch Anfertigung der Cartons zu den historischen Bildern, hülfreiche Hand geleistet habe. Der Saal dient jetzt nicht so sehr zur Bibliothek, als vielmehr zur Sacristey der Domkirche. Er ist im Grundrisse ein Rechteck, welches mit einem schönen Spiegelgewölbe zu zwölf Kappen, von denen je zwei an den schmalen Seiten und je vier an den langen Seiten sind, überwölbt ist. Diese Kappen bilden an den Wänden zwölf Bogen über Rechtecken, deren zehn historische Bilder aus dem Leben *Pius II.* und zwei, an der schmalen Seite der Eingangsthüre gegenüber, Bogenfenster enthalten, die den Saal erleuchten. Das in der „Architecture Toscane" gezeichnete Portal vor der Ansicht ist nicht etwa die Eingangsthür der Libreria, sondern der Architektur der Kirche angehörig. Die Eingangsthüre liegt tiefer als der Bogen in dem schönen Täfelwerke, welches, neun bis zehn Fufs hoch, den untern Theil der Wände bedeckt. Über diesem Täfelwerke ist ein gegliederter Sockel, auf welchem die Lisenen und Kämpfer stehen, welche die Kappen-

bogen des Gewölbes tragen. Die Lisenen haben etwa den achten Theil der Bogenspannung zur Breite, mit Ausnahme derer in den Ecken, welche etwa halb so breit sind. Die Breite der Kämpfer, also auch der Bogen-Einfassungen, welche die Kämpfer tragen, ist ungefähr Einzwölftheil der Bogenspannung, und die Weite zwischen den innern Kämpferkanten ist die Hälfte der innern Höhe des Bogenfeldes, einschliefslich des gegliederten Sockels, dessen Höhe der Breite der Lisenen gleichkommt. Der Breite der Bogenspannung ist auch die Höhe des untern Täfelwerks gleich. Ich führe diese Verhältnisse an, weil sie äufserst günstig sich zeigen und man sich danach die Hauptformen des ganzen Saales construiren kann, wenn man noch berücksichtigt, dafs das Rechteck des Grundrisses nahe halb so breit als lang sein wird. Der Fufsboden ist mit Marmortafeln belegt.

Alles war, als ich es sahe, ganz vortrefflich erhalten; eben als wenn es erst gestern fertig geworden wäre. Dazu kommt, dafs man sich in dieser Epoche der architektonischen Verzierung vor der Anwendung ganzer Farben, in ihrer vollen Pracht und Kraft, nicht fürchtete, so dafs der Eindruck, den das Ganze macht, höchst entschieden ist.

Die zehn grofsen historischen Bilder haben das malerische, wenn gleich etwas idealisirte Costüm der Zeit, in welcher sie gemalt wurden; die Figuren sind, wenn mich meine Erinnerung nicht trügt, ungefähr lebensgrofs. *Vasari* nennt noch, als Freunde und Gehülfen von *Pinturichio,* den *Benedetto Buonfiglio* und *Gerino Pistolese;* welche alle, eben wie *Raphael* und *Pinturichio* selbst, zur Schule von *Pietro Perugino* zu rechnen sein dürften.

Die ungemeine Frische und Kraft der Farben in diesem Saale deutet auf eine eigene Technik derselben. Ich mufs aber zu meinem Bedauern gestehen, dafs ich durch die Pracht und Schönheit der Composition so sehr überrascht und gefesselt wurde, dafs ich es versäumt habe, die Technik der Ausführung näher zu erforschen. Ölfarbe ist es nicht, sondern entweder Fresco, oder Tempera, und zwar eine sehr gute Tempera, die weder verblafst, noch nachgedunkelt ist. Demjenigen, der sie untersuchen will, möchte ich besonders rathen, sehr genau nach der Tünchemasse und der Grundirung unter den Malereien zu sehen. Eine eben so bewundernswerthe Farbenfrische sollen die arabischen Malereien im *Alhambra* zu *Granada* haben, und es ist wohl möglich, dafs man noch zu *Pinturichio's* Zeit technische Vortheile dabei kannte, die aus dem Orient stammten; gewifs ist es wohl, dafs wir gegenwärtig keine Mittel kennen, irgend eine Art von Malerei, es müfste denn Glas- oder Porcellan-

malerei sein, fast vier Hundert Jahre lang so frisch und lebendig zu erhalten, wie es diese Gemälde sind.

Der Verzierung der ***Libreria*** zu ***Siena*** ist, wie bemerkt, die Verzierung der Kuppel der Kirche ***Santa Maria del popolo*** zu ***Rom*** sehr ähnlich; wie dies dem Unbefangenen, der beide gesehen hat, beim ersten Blick wird eingeleuchtet haben. Allerdings kann dabei nur von der Vergleichung der Verzierung der ***Decken*** die Rede sein. In derselben ist aber offenbar die Art der Felder-Eintheilung der Verzierungen und der Farbenwahl einander ähnlich und, was ebenfalls zutrifft, auch die frische Erhaltung der Farben ist dieselbe; so dafs also die gangbare Meinung, die Kuppelverzierung sei ein Werk des ***Pinturichio*** und seiner Freunde, ganz richtig sein dürfte. So sicher es übrigens scheint, dafs die beiden erwähnten Bauwerke von demselben Meister, also von ***Pinturichio*** aufgeführt sind: so wenig ist es glaublich, dafs die erste Capelle, links beim Eingang von der Kirche ***Araceli,*** welche ihm nach ***Vasari,*** und zwar als eines seiner späteren Werke gewöhnlich zugeschrieben wird, von ihm herrühre, da deren Verzierungsstyl offenbar viel älter ist.

Die Kuppel der Kirche ***Santa Maria del popolo*** zu ***Rom*** ruht auf vier Schwibbogen (en pendentifs) von der bekannten Form. In dem Scheitel der Kuppel sind Christus und Maria in einem runden Felde abgebildet; Christus krönt Maria. Zwischen diesem Felde und den Scheiteln der vier Schwibbogen sind vier kleinere runde Felder, in welchen halbe Figuren der vier Evangelisten dargestellt sind. Zwischen diesen runden Feldern sind viereckige, nach den runden Feldern concav ausgeschweifte Theilungen, in denen vier Frauen, welche die vier Haupttugenden (Cardinaltugenden) bedeuten, abgebildet sind. Endlich sind noch in den Spitzen zwischen den Schwibbogen die vier Kirchenlehrer in gemalten Nischen dargestellt. Diese Darstellungen sind offenbar im Geiste der Verzierungs-Art der mittelalterlichen italienischen Bauart; sogar der älteren, wie sie z. B. in den Exedren oder Absiden der alten Basiliken oder der Kuppeln der ***Marcuskirche*** zu ***Venedig*** sich finden. Aber die Räume zwischen den Feldern sind ganz mit antiken Ornamenten in bestem Style ausgefüllt. Die Formen der Felder-Abtheilungen sind durch dunkelblaue Bänder mit einem einfachen goldnen Mäander (à la grecque) markirt, welcher an beiden Seiten von einer schmalen hellgrauen Arabeske eingeschlossen wird; dann kommt der Grund, welcher vergoldet, aber mit einer lotusartigen Arabeske, die aus Thieren und Pflanzen zusammengesetzt ist, in den natürlichen Farben bemalt ist. Der Raum um das grofse runde Feld im Scheitel

der Kuppel ist von einem doppelten Achtecke umgeben. Zwischen den beiden Achtecken in der Mitte sieht man, aufser mehreren andern Verzierungen, einen künstlichen Mäander, weifs auf cochenillefarbenem Grunde, und der Raum zwischen dem grofsen runden Felde und dem innern Achteck ist himmelblau, mit blassen, vom mittleren runden Felde ausgehenden und spitz sich endigenden goldnen Strahlen bemalt. Die Gewölbspitzen zwischen den Schwibbogen sind durch das dunkelblaue und goldne Band von den obern Feldertheilungen abgesondert und haben einen dunkelblauen Grund, mit goldner Arabeske auf demselben. Es ist unglaublich, welche Pracht, Schönheit und sinnige Anordnung alles Dieses giebt.

Vasari zählt noch viele Werke von *Pinturichio* auf, die freilich theilweise zerstört, theilweise aber auch noch im Verborgenen vorhanden sein mögen; an welchen also der Kunstforscher noch Manches entdecken kann, was wohl zu suchen der Mühe werth ist. Ich meinerseits bin der Meinung, dafs sich die architektonische Verzierungskunst, weder vor- noch nachher, jemals auf eine höhere Stufe der Vollkommenheit erhoben habe.

Zunächst soll der Cardinal von *San Clemente Domenico della Rovere* von *Pinturichio* verlangt haben, dafs er ihm einen schönen Palast, welchen er in *Borgo vechio* (dies ist, wenn ich nicht irre, derjenige Theil von Rom, nahe an der Engelsburg, welcher jetzt *Borgo San Angelo* heifst) erbaut hatte, mit Malereien verziere, und dafs er auch an dem Palaste das Wappen des Papst *Sixtus* (ohne Zweifel *Sixtus IV.*, der ein *Della Rovere* war und 1471 gekrönt wurde), von zwei Knaben getragen, abbilde. Auch habe *Pinturichio* den Palast *San Apostolo* (?) für *Colonna Sciarra* verziert. Und nicht lange nachher, im Jahre 1484, habe der Papst *Innocenz VIII.* einige Säle und Hallen im Palaste von *Belvedere* (im Vatican) von ihm malen lassen, wo er unter andern auch eine Halle ganz mit Landschaften schmückte, welche Rom, Mailand, Genua, Florenz, Venedig und Neapel in niederländischer Manier vorstellten. In der oben erwähnten Kirche von *Santa Maria del popolo* habe er zwei Capellen mit Gemälden verziert: die eine für den oben erwähnten Cardinal *Domenico della Rovere,* der daselbst begraben sei, die andere für den Cardinal *Innocenz Cibo,* der ebenfalls daselbst seine Grabstätte habe. Im päpstlichen Palaste malte er einige Zimmer, welche die Aussicht nach dem Petersplatz haben, in denen aber später der Papst *Paul IV.* die Decken und die Malereien erneuern liefs. In demselben Palaste liefs Papst *Alexander VI.* alle die Zimmer, welche er bewohnte, und

den ganzen Theil des Palastes, der ***Torre Borgia*** genannt wird, mit historischen Darstellungen der freien Künste von ihm malen und alle Gewölbe mit Gold und Stuccatur-Arbeiten verzieren. Da man es aber damals, nach *Vasari's* Meinung, noch nicht verstand, die Stuccatur-Arbeiten so dauerhaft zu verfertigen, wie späterhin, so verdarben diese Ornamente bald. In der ***Engelsburg*** malte er unzählige Zimmer mit Grotesken. Er habe, sagt *Vasari*, in ganz Italien Vieles, und auch Einiges in ***Perugia*** verfertigt. Endlich führt *Vasari* noch an, dafs ***Pinturichio*** in ***Araceli*** die Capelle von ***San Bernardino*** und in ***Santa Maria del popolo***, an der oben beschriebenen Kuppel, die vier Kirchenlehrer gemalt habe. Ich finde aber auch in den Noten *Bottari's* zum Vasari, dafs schon andere Kunsthistoriker es bezweifelt haben, dafs die Capelle in ***Araceli*** von ***Pinturichio*** sei.

Von allen diesen Werken sind mir, aufser der ***Libreria*** zu ***Siena*** und jener Kuppel, so wie der Capelle in ***Araceli***, keine andern aus eigener Anschauung bekannt. Ich erinnere mich wohl, von Malereien der Art, wie sie sich in den Sälen der Engelsburg befinden, gehört zu haben: sie waren aber bei meiner Anwesenheit in Rom nicht zugänglich; auch habe ich einige Erinnerung von der Verzierung einer Capelle in ***Santa Maria del popolo***, die sich aber, glaube ich, mehr dem Style der Capelle in ***Araceli***, als dem der Kuppel näherte.

Gewifs ist es wohl, dafs die Kuppel und die Libreria zu den spätesten Arbeiten ***Pinturichio's*** gehören; denn an der Libreria half ***Raphael***, der erst 1483 geboren wurde; und die im Styl derselben ähnliche Kuppel kann, da ***Bramante*** nicht früher nach Rom kam, erst im Anfange des sechzehnten Jahrhunderts verziert worden sein.

Es würde ein recht verdienstliches Werk sein, alle architektonischen Productionen ***Pinturichio's*** zu sammeln und herauszugeben. Nichts würde, glaube ich, mehr dem Zeitgeschmacke zusagen. Man würde gewifs noch manches Vortreffliche, der jetzigen Kunstwelt Unbekannte darin finden. Freilich sind die Farben bei diesen Werken sehr mannichfaltig: farbiger Druck aber ist sehr schwierig und deshalb sehr theuer. Es würde aber genügen, wenn man die Gegenstände nur in Umrissen gäbe, die Farben beschriebe und dabei colorirte Exemplare zu verhältnifsmäfsig höheren Preisen anböte.

Ich möchte hier auch noch zweier Zeitgenossen von ***Pinturichio*** erwähnen, deren Werke auf die Bauart dieser Periode, wie ich glaube, besondern Einflufs hatten: nemlich des Bildhauer und Architekten *Andrea dal*

Monte Sansovino und des Architekten und Ingenieurs ***Michael Sammichele (oder San Michele).*** Ersterer wurde zu ***Monte Sansovino*** im Jahre 1460 geboren und starb im Jahre 1529; ***Sammichele*** wurde 1484 in ***Verona*** geboren und starb ebenfalls im Jahre 1529. Der Styl ihrer Werke ist sich ähnlich; sie haben (besonders ***Sammichele***) Vieles gebaut und man findet bei ***Vasari*** Verzeichnisse ihrer Leistungen. Als besonders charakteristisch möchte ich von ***Sansovino*** die Gigantentreppe im Hofe des Dogenpalastes zu ***Venedig,*** und von ***Sammichele*** die zu ***Verona*** bei der Kirche ***San Bernardino*** befindliche Capelle der ***Guareschi,*** wie sie Vasari nennt, oder der ***Pellegrini,*** wie man sie jetzt zu Verona nennt, anführen. Während ***Pinturichio*** das Trefflichste durch Verzierung mit Malereien leistete, sind es plastische Ornamente, ohne alle Färbung, die bei diesen Meistern Bewunderung erregen. Die Gigantentreppe ist aus weifsem Marmor und die Capelle der ***Pellegrini*** aus einem sehr feinen weifsen Steine, den man in Verona wegen seines metallischen Klanges ***Bronzo*** nennt. Der Styl dieser Verzierungen schliefst sich dem antiken römischen an, hat aber auch viel Eigenthümliches und zeigt sich an den zahlreichen schönen Grabmonumenten aus dieser Zeit, wie sie sich z. B. in der Kirche ***Santa Maria del popolo*** und ***Santa Maria sopra Minerva*** in Rom finden. Von denselben sind unter anderen mehrere in dem schönen Werke von ***Guttensohn*** und ***Thürmer*** „Sammlung von Denkmalen und Verzierungen der Baukunst in Rom. Rom und Frankfurt 1826." abgebildet. Es hatte sich diese Verzierungsweise schon damals weit über Europa verbreitet und man findet auch häufig in norddeutschen Kirchen Monumente, an welchen sie nachgeahmt, wenn auch selten mit gleicher Vollkommenheit ausgeführt sind.

Wenn man sich die edlen plastischen Verzierungen der ***Sammichele*** und ***Sansovino*** mit ***Pinturichio's*** Farbenpracht vereinigt vorstellt, so ist man versucht zu glauben, eine solche Vereinigung habe den Urhebern einiger der schönsten Productionen der neuern Zeit, z. B. ***Schinkel*** bei seinem prächtigen Concertsaale im Schauspielhause zu ***Berlin,*** vorgeschwebt; wenn auch andere Combinationen von Malerei, Bildhauerei und Architektur in den Werken desselben Meisters, z. B. in dem Prostylon des Museums zu ***Berlin,*** offenbar durch ***Pausanias*** hervorgerufen sind.

Ich komme jetzt zu den berühmtesten architektonischen Productionen dieser Kunst-Epoche, nemlich denjenigen von ***Raphael*** und seinen Schülern.

Es kann hier nicht meine Absicht sein, alle Werke derselben aufzuführen und sie zu beschreiben, so wenig, wie es bei den Werken der vor-

erwähnten Architekten geschahe. Nur des am meisten Charakteristischen und Eigenthümlichen, diese Kunst-Epoche am schönsten Bezeichnenden, läfst sich gedenken; und dahin rechne ich, von *Raphaels* Schule, die *Loggien* im vaticanischen Palaste, die *Villa Madama* bei *Rom*, die Villa des Papstes *Julius*, vor der *Porta del popolo* bei *Rom*, und den Palast *des.* T zu *Mantua.*

Über Raphaels Loggien existirt bekanntlich das grofse Prachtwerk von *Volpato* und *Morghen*, welches jedoch schwer zu haben ist. Dagegen liefert das schon gedachte Werk von *Guttensohn* und *Thürmer* „Denkmale und Verzierungen der Baukunst in Rom" Abbildungen der Loggien sowohl, wie auch der Villa *Madama*, die, so weit es in Umrissen möglich war, beide Bauwerke recht anschaulich machen.

Die *Loggien* wurden von *Bramante* zu bauen angefangen, von *Raphael* aber fertig gebaut, und es ist wohl anzunehmen, dafs die architektonische Grund-Idee eigentlich *Bramante* angehöre. In dieser Grund-Idee ist übrigens nicht Vieles neu; sie ist nur eine Anwendung des Architektursystems des Colosseums auf die Hallen eines Hofes, welche zur Communication der Zimmer dienen und in der italienischen Architektur schon damals normal geworden waren. Hier, im vaticanischen Palast, umgeben die Loggien Raphaels einen rechteckigen Hof, welcher *Hof von San Damaso* genannt wird und an der Seite des Palastes nach der Peterskirche hin liegt, von drei Seiten; die vierte Seite ist offen. Sie befinden sich in vier Stockwerken übereinander. Das untere Stockwerk ist ganz einfach und ohne Verzierung. Eine Treppe hoch sind Arcaden, auswendig mit einer dorischen Säulenstellung (ohne Triglyphen) verziert, inwendig mit Kuppeln auf Schwibbogen überwölbt und ganz mit gemalten Arabesken und Stucco-Verzierungen bedeckt. Das dritte Stockwerk hat eben so Arcaden, aber von jonischer Ordnung, und auswendig und inwendig Klostergewölbe, die in der Mitte einen horizontalen Spiegel haben. Das vierte Stockwerk endlich hat keine Arcaden, sondern nur einzelne, freistehende Säulen von der sogenannten römischen Ordnung, und im Innern horizontale Architrav-Verbindungen, auf welchen Klostergewölbe mit Spiegeldecken ruhen.

Nur zwei Seiten der Hallen sind verziert, und unter diesen sind nur die im zweiten und dritten Stockwerk theilweise von *Raphael* und seinen Schülern ausgeführt. Die Säulenstellungen auswendig an den Loggien haben hier schon eine gewisse Regelmäfsigkeit; wenn natürlich auch noch nicht nach *Vignola's* strenger Zwangsvorschrift. Jede Ordnung hat ihr vollständiges,

aus dem Carnies, dem Friese und dem Architrave bestehendes Hauptgesims; die Säulen bestehen aus Knauf, Schaft und Base, und haben Piedestale. Zwischen diesen Piedestalen kommt hier, wie ich glaube zum erstenmal, Etwas vor, was sich in der altrömischen Architektur nicht findet und was ich also, so sehr sich auch mein Gefühl dagegen sträubt, für eine Erfindung ***Bramante's,*** oder ***Raphaels*** halten mufs: ich meine die ***Dockengeländer*** oder ***Balustraden,*** welche die Brüstungen der Arcaden ausfüllen. Die Form dieser Docken oder Balustern ist eine plumpe Nachahmung der antiken Candelabergestalt. Hier ist sie noch immer mit einem gewissen Geschmack angethan; in spätern Zeiten, besonders in der Rococco–Epoche der Baukunst, artete sie aber zu den gröfsten Mifsgestalten aus. Aufserdem haben hier auch die Thüren und Fenster gegliederte Einfassungen und Verdachungsgesimse, wie sie in der früheren Epoche von ***Brunelleschi*** und seinen Schülern noch nicht vorkamen, seitdem aber üblich geblieben sind, wie die erwähnten Architekturformen überhaupt; so dafs darin für die heutige Zeit nichts Auffallendes liegt, wenn gleich sie es für die damalige Zeit sein mufsten.

Aber was auch noch jetzt das höchste Erstaunen und die gröfste Bewunderung erregen mufs, das ist die innere Decoration dieser Loggien. Von vornherein hatte sich der Meister die schwerste Aufgabe dadurch gestellt, dafs er jede Abtheilung, wie sie durch die einzelnen Arcaden gebildet wird, ***besonders*** verzierte und nur grade so viel Übereinstimmung liefs, um dem Ganzen Harmonie zu verschaffen. Im zweiten Stockwerke (eine Treppe hoch) von welchem die erste Abtheilung, von *Giovanni da Udine,* einem Schüler Raphaels, ausgeführt wurde, sind die auf Schwibbogen ruhenden Kuppeln z. B. bald mit den zierlichsten Cassatur–Abtheilungen, bald mit anmuthigen Laubendecken geschmückt, und alle verschieden; wie denn auch jede Kuppel für sich ein Ganzes bildet und für sich allein betrachtet werden kann. Dagegen sind die Ansichten der Schwibbogen von unten, welche die Kuppeln tragen, ziemlich ähnlich, mit Cassaturen verziert; und dies mit Grunde, weil keine solche Ansicht von unten für sich ein Ganzes ist, wohl aber alle zusammen im Überblick der Galerie ein Ganzes bilden. Dieser Überblick wird nicht dadurch gestört, dafs die innern Felder der Cassaturen, deren Einfassungen von Stucco, also erhaben sind, mit ganz verschiedenen Malereien geschmückt wurden. So sind zwar die halbrunden Abtheilungen über Thüren und Fenstern alle nach einem ähnlichen Systeme mit Malereien verziert: sie haben z. B. zunächst den Kuppeln eine ungefähr gleich breite Verzierung zur Einfassung

und darunter eine sich central entwickelnde Arabeske: aber die Verzierungen und die Arabesken selbst sind alle verschieden. Und dieses System ist überall durchgeführt; so dafs man bei der Betrachtung des Ganzen durchaus nicht das Gefühl einer Verwirrung, noch weniger des Bunten hat, da auch mit den theilweis sehr kräftigen Farben nach demselben Systeme verfahren ist; wohl aber hat man die höchst geniale und geistreiche Erfindungsgabe zu bewundern, welcher eine Darstellungsfähigkeit zu Gebote stand, die alles Bekannte weit übertrifft.

Forscht man nun dem geschichtlichen Ursprunge dieses Verzierungssystems nach, so wird man wieder auf das Alterthum geleitet, und namentlich, (wie schon erwähnt) auf die damals gleichsam neu entdeckten und durch Aufgrabung wieder geöffneten innern Säle und Zimmer der altrömischen Bäder, namentlich der Thermen des *Titus*. Auch die Manier der Ausführung ist der dortigen ähnlich; eben so die Färbung; und der Styl der einzelnen Verzierungen ist derselbe. Damals war noch mehr von den Verzierungen der Bäder erhalten, als jetzt, und so waren damals reichere und mannichfaltigere Vorbilder vorhanden. Hätten aber *Raphael* und seine Schüler Das gesehen, was wir jetzt von *Pompeji* kennen: wie würden sie es benutzt und besonders die mannichfachen Motive der architektonischen Anordnung ausgebeutet haben!

Das dritte Stockwerk, dessen erste Abtheilung man *Raphael* persönlich zuschreibt, ist nach demselben Princip der möglichsten *Mannichfaltigkeit* verziert. Hier sind die Lisenen und Kämpfer, welche die Gewölbe tragen, mit einem Reichthum von Arabesken geschmückt, der alle Phantasie, nur nicht die des Schöpfers derselben überstieg. Jeder Kämpfer, jede Lisene ist verschieden; nur die gegenüberstehenden Kämpfer sind in der Haupt-Anordnung, jedoch nicht in den Einzelnheiten, sich gleich. Die Räume zwischen den Fenstern und Gewölben sind mit Guirlanden von Früchten ausgefüllt; aber jedes Fruchtbouquet ist verschieden. Die Verzierung der Gewölbe endlich ist besonders berühmt durch die Darstellungen aus dem alten Testament, welche zwischen reichen Verzierungen von Cassaturen, gemalten, segelförmig ausgegespannten Stoffen und Arabesken, in besondern Feldern eingerahmt sich befinden.

Das System bei der Erfindung aller dieser Arabesken ist dasjenige, welches *Göthe* ausspricht, der es von *Raphaels* Princip ableitete. *Göthe* erklärt, dafs sich zur Arabeske *jeder* Gegenstand eigne, der eine anmuthige,

graziöse Form hat, und dafs bei der Zusammensetzung der einzelnen Gegenstände Grazie der Form des Ganzen die Hauptsache sei. Eine bis in die Einzelnheiten durchgeführte Bedeutsamkeit solle man in der Arabeske nicht suchen; sie sei ein heitres Spiel der Phantasie, welches sich durch mystische Grillen, die über die Erfindung herrschen möchten, keinen Zwang anthun lasse.

Die Malereien der ***Loggien*** sind nicht so wohl erhalten, wie die oben beschriebenen von ***Pinturichio***. Die nächste Ursach davon liegt freilich darin, dafs sie mehr der Luft, der Sonne, der Witterung überhaupt, und auch zufälligen Beschädigungen ausgesetzt waren; dann aber sind sie *al fresco*, d. h. auf nasser Stuccotünche gemalt. Ich für mein Theil bin kein unbedingter Verehrer der Frescomalerei; die Italiener schätzen sie sehr, weil sie zugleich eine Art Kunststück ist, indem der Maler, während er seine Farben aufträgt, sie nicht *so* sieht, wie sie sind, wenn sie getrocknet sein werden. Natürlich werden keine Pflanzenfarben zu diesen Malereien genommen, weil die nasse Kalktünche sie zerstören würde: aber die Farbe bleibt doch, nachdem sie aufgetragen wurde, den ganzen ersten Tag hindurch nafs, und hat einen andern Ton, als trocken. Dieser letztere läfst sich eben so wenig genau voraussagen, als sich aus den trocknen Farben erkennen läfst, wie sie aussahen, als sie nafs waren. Dazu kommt nun, dafs die metallischen Farben, die man nehmen mufs, mit der Zeit an der Luft oxydiren und sich folglich verändern. Freilich dauern Leimfarben, Temperamalerei und Ölbilder im Wetter gar nicht: wenn es also nicht gelingen sollte, die ***Wachsmalerei*** wieder zu der Vollkommenheit wie bei den Alten zu bringen, wo sie selbst auswendig an den Seeschiffen gedauert haben soll, so müfste man verständigererweise darauf verzichten, Malerei auswendig an Gebäuden und wo sie der Luft, dem Regen und dem Sonnenschein ausgesetzt sind, anzubringen.

Übrigens erregen die Loggien doch auch in *einer* Beziehung ein nicht angenehmes Gefühl; nemlich das der ***Überladung*** mit Verzierungen. Es läfst sich denken, wie dem Bauherrn die Entstehung dieser Malereien, die er *successiv* sah, ein ungemeines Vergnügen machen mufste. Jetzt aber, wo man eine ganze Reihe davon übersehen und auffassen soll, fühlt man sich davon wie erdrückt. Man fragt sich unwillkürlich: wie sollen erst die Zimmer und Säle eines Palastes verziert werden, wenn die Gänge schon so überprächtig sind? Zwar hat ***Raphael*** auch diese Frage gelöset, indem er die Wände der den Loggien benachbarten berühmten Zimmer, die man die ***Stanzen*** nennt (stanza, das Zimmer, hier in sensu eminentiore) mit seinen weltbekannten

grofsen historischen Bildern bedeckte, die mit ihrem hohen malerischen Werth über den Loggien stehen: indessen ist doch die Verzierung der letztern, architektonisch betrachtet, weit reicher als die der Stanzen; denn man kann wohl sagen, dafs jede Arcaden-Abtheilung genug Decorations-Motive enthält, um einen grofsen Saal reichlich damit zu schmücken.

Eine ähnliche, doch bei weitem weniger geistvolle Überladung mit Verzierungen fand auch in der Spitzbogengewölbe-Bauart Statt und hatte die Folge, dafs die meisten gröfseren Gebäude von dieser Bauart, wegen der übermäfsig langen Zeit und der ungemessenen Kosten der Ausführungen dieser unendlichen Verzierungen, nicht *fertig* wurden. Und so ist es auch bei den Loggien gegangen; ihre Verzierung wurde auch nicht *fertig* und ist zum Theil noch jetzt unvollendet. Die erste Abtheilung der obersten Loggienreihe (von welcher ***Guttensohn*** und ***Thürmer*** im zweiten Hefte ihres obenerwähnten Werks eine schöne perspectivische Ansicht gegeben haben) ist von ***Nicolo Pomerancio, Giovanni Battista della Marca*** und ***Paris Nogari*** gegen das Ende des sechzehnten Jahrhundert gemalt.

Ein anderes, leider auch nicht vollendetes Architekturwerk ***Raphaels*** ist die sogenannte ***Villa Madama*** auf dem ***Monte Mario*** bei ***Rom.*** Der Cardinal ***Julius von Medici,*** der nachmals Papst unter dem Namen ***Clemens VII.*** wurde, liefs sie erbauen; sie hat ihren Namen von Madama ***Margaretha von Österreich,*** der Tochter Kaiser ***Carls V.*** und Gemahlinn des Herzogs ***Alexander Medici*** von Florenz, durch die sie an das Haus ***Farnese*** und von diesem an den jetzigen Besitzer, den König von Neapel, gelangte. ***Percier*** und ***Fontaine*** haben (im siebenten Hefte ihrer „Maisons de plaisance de Rome") mehrere Abbildungen davon gegeben; unter andern eine wunderschöne Restauration des Grundrisses: ich sage Restauration, denn was von dem Gebäude vorhanden ist, kann man eigentlich nur die Ruine von dem Stück einer Villa nennen. Die genannten französischen Architekten nennen diese Restauration eine gewagte Erinnerung (reminiscence hazardée) nach der Handzeichnung eines Planes von ***Antonio da Sangallo*** dem jüngern, der 1470 geboren wurde und 1546 starb, also ein Zeitgenosse ***Raphaels*** war.

Göthe sagte zu mir einst: „Die Italienier können nichts Kleinliches „bauen; sie projectiren ein grofsartiges Gebäude: sind die Mittel nicht vor„handen, um es ganz zu vollenden, so führen sie einen Theil davon aus, der „das Ganze blofs andeutet und überlassen es der Phantasie des Betrachtenden, „sich das Übrige zu denken." Er hatte dabei zunächst die Gebäude ***Palladio's***

im Auge; auf welche diese Bemerkung, wenigstens zum Theil, sehr passend, ist. „Besonders," setzte er hinzu, „habe ich mich über," ich glaube er sagte es mit etwas gedämpfter Stimme und einem Seitenblick, „„den Kerl"" „gefreut, der die Villa Madama am Monte Mario gebaut hat. Da hat er ein „Stück Gebäude an den Berg gesetzt und es den Leuten überlassen, das „Übrige in dem Berge sich zu denken."

Ich führe diese Äufserung *Göthe's* besonders deshalb an, weil es beim ersten Blicke wirklich natürlich ist, anzunehmen, das vorhandene Gebäude hier sei nur ein Stück eines Flügelbaues, der zu einem grofsen Hauptgebäude habe gehören sollen, welches man hinter der grofsartigen Terrasse neben dem Gebäude dicht am Berge, oder eigentlich *im* Berge, habe errichten wollen; womit dann ein anderer, dem vorhandenen symmetrisch gegenüber stehender Flügelbau verbunden worden wäre. Allein die nähere architektonische Untersuchung zeigt, dafs der vorhandene Gebäudetheil kein Flügelbau, sondern ein Stück des Hauptgebäudes selbst ist. Der Anfang eines runden Raumes beweiset dies. Vielleicht sollte es ein grofser Saal, oder Hof werden, wie dies die Mauer-Anfänge der Fortsetzung des Gebäudes nach der von der grofsen Terrasse abliegenden Seite hin zeigen. Mag nun die Angabe der französischen Architekten richtig sein, oder nicht: gewifs war der vollständige ursprüngliche Grundrifs eine geniale, von dem damals Gewöhnlichen ganz abweichende Production. Von dem zu bauen angefangenen runden Raume führten Thüren nach den Aus- und Eingängen des Hauses, nach den innern Zimmern aber nur Fenster. Man möchte deshalb glauben, dafs der Raum oben unbedeckt bleiben sollte; aber dann wäre die runde Form gar nicht motivirt, nicht einmal gerechtfertigt gewesen, da sie den innern Zimmern das Fensterlicht beschränkte. Ich möchte deshalb glauben, dafs man die Absicht hatte, die Rundung mit einer Kuppel zu bedecken, die, wenn sie, nach Art des damals wohlbekannten Pantheons, im Scheitel ein offenes Auge hatte, hell genug blieb, um von da aus den Zimmern noch Licht mitzutheilen und zugleich, als gröfsentheils bedeckt, bei jeder Witterung den verschiedenen Theilen des Gebäudes zur Communication zu dienen.

Gewifs war die Hauptfronte nicht die nach der Terrasse, wo die prächtige, von *Raphael, Giulio Pippi (Romano)* und *Johann von Udine* mit Malereien und Stuccaturen verzierte Halle liegt, sondern die nach dem Berg-Abhange hinunter. Ob aber an derselben, wie in dem französischen Projecte, der Haupt-Eingang lag, so dafs man auf einer hohen, zweiarmigen

Freitreppe dazu gelangte, während auf der andern Seite dieser Hauptfronte, symmetrisch mit der vorhandenen Terrasse, eine eben solche Terrasse gebaut werden sollte, in welcher man zugleich einen Aufgang für Pferde und Saumthiere einrichten wollte, und wo eine zweite, ähnliche Halle der ersten entsprochen hätte: oder ob man vielleicht nur die Absicht hatte, die Hauptfronte ohne Eingang zu lassen und nur von der Seite über die Terrasse durch jene Halle den Eingang anzuordnen, mufs ich unentschieden lassen. Was jedoch jedenfalls aus dem Vorhandenen hervorgeht, ist, dafs dieser Grundrifs und das ganze Gebäude eine von den normalen damaligen Gebäude-Einrichtungen ganz abweichende Conception des Architekten war („des Kerls", ich will es dahin gestellt sein lassen, ob *Göthe* darunter *Raphael,* oder, wie ich fast glaube, *Giulio Romano* verstand).

Dann ist auch sehr deutlich, besonders aus den Constructionen an der Terrasse, zu sehen, dafs dabei dem Erfinder die Architektur der Reste der altrömischen Bäder vorschwebte; und Dies hätte weiter geführt, wenn der Genius, der hier ein architektonisches Kunstwerk schaffen wollte, länger gewirkt hätte. Es wäre eine der schönsten Aufgaben für die Architekten unserer Zeit, diese Villa im Geiste *Raphaels* zu vollenden.

Der Styl der Verzierung jener schönen Halle ist ganz dem in den vaticanischen Loggien gleich; nur dafs er auf gröfsere Wölbungen angewendet ist. Die Halle besteht aus drei Abtheilungen, deren mittlere mit einer Kuppel auf Schwibbogen, die beiden andern mit Kreuzgewölben bedeckt sind; und an dem Kreuzgewölbe beim Eingange rechts befindet sich eine grofse Nische oder Exedra, die mit einer Halbkuppel bedeckt ist. Die Verzierung besteht zunächst aus der architektonischen Anordnung zierlicher Wölbungen, mit ihren Cassaturen und Feldertheilungen, Bogengliederungen, Lisenen, Nischen und Postament-Ausladungen; dann aus Tafeln mit historischen Gemälden, sehr reichen und mannichfaltigen Arabesken, aus prächtigen Stuccatur-Arbeiten und aus Statuen; welche jedoch nicht vorhanden sind. Leider sind diese Verzierungen noch weniger gut erhalten, als die der Loggien.

Von der Architektur der vorhandenen Stücke der Façaden möchten die kleinen Fenster in dem Friese des Hauptgesimses, der ungleiche Abstand der jonischen Pilaster und die Unregelmäfsigkeit der Fensterstellung nicht nachahmenswerth sein.

Zu den berühmtesten Gebäude-Verzierungen von *Raphael* rechnet man auch noch die prächtige Ausschmückung des Saales des Palastes *Farnesina,*

an der Strafse ***Longara*** zu ***Rom.*** Sie gehört freilich mehr in das Gebiet der Malerei, als der Architektur; die Architektur des Palastes ist von ***Balthasar Peruzzi,*** einem Zeitgenossen ***Raphaels*** (er wurde 1481 geboren und starb 1536). Indessen finden sich zwischen den historischen Gemälden der ***Farnesina*** auch prächtige Verzierungen, und es ist in dem Ganzen der Malereien eine gröfsere und kräftigere Farbenpracht, als in den Loggien und den Malereien der ***Villa Madama.***

Ein sehr interessantes Gebäude aus dieser Kunst-Epoche ist der Palast des Papstes ***Julius III.*** (von der römischen Familie ***de Monte;*** er wurde 1550 gekrönt). Er wird auch die ***Vigna*** des Papstes Julius genannt; auch wohl die ***Villa*** desselben, aber irrigerweise, da unter Villa des Papstes Julius ein anderes nahegelegenes Gebäude verstanden wird, welches ***Balthasar Peruzzi*** gebaut haben soll, während man die Architektur des Palastes des Papstes Julius dem ***Jacob Barozzi da Vignola*** (geb. 1507, gest. 1573) zuschreibt. In diesem Palaste sind Arabesken im Style der Loggien von ***Taddeo Zuccari*** von ***Urbino*** gemalt, der 1529 geboren und 1566 gestorben ist. An zwei Plafonds sollen die schönen Frescomalereien von ***Giulio Romano*** und seinen Schülern herrühren. Ist das letztere richtig, so mufs man wenigstens annehmen, dafs der Papst den Palast schon vor seiner Krönung habe erbauen lassen; denn ***Julius Pippi (Romano)*** ist 1492 geboren und schon 1546 gestorben. Ich bin geneigt, dies anzunehmen, da ich in der Architektur dieses Palastes zwei verschiedene Baustyle zu erkennen glaube, und namentlich in dem Hauptgebäude, mit seiner schönen halbkreisförmigen Colonnade, viel eher die Architektur eines Schülers ***Raphaels,*** wie ***Julius Pippi,*** als die von ***Vignola*** erblicke; welchem ich dagegen die Architektur der oberen Höfe zuzuschreiben geneigt bin; die wohl etwas später gebaut sein können. (In dem achten Hefte der „Maisons de plaisance de Rome" ist dieser Palast unter dem Namen Villa di Papa Giulio abgebildet.)

Sein Grundrifs ist eine sehr geniale Composition, die lebhaft an den Grundrifs der ***Villa Madama*** erinnert. Bei beiden mufs man nur nicht das materielle Bedürfnifs als höchstes Motiv ansehen. Der Wohnraum ist in beiden nicht die Hauptsache; es ist wenig dergleichen da. Dagegen sind schöne Hallen und Säulenstellungen vorhanden, regelmäfsige, reichlich mit Architektur geschmückte Höfe, zierliche Loggien und Räume zur Aufstellung von Kunstwerken; sodann die in warmen Ländern so angenehmen Springbrunnen und Wasserbecken: Alles in Verbindung mit regelmäfsigen, zum Theil terrassen-

förmigen Garten-Anlagen. Man wollte ein architektonisches Kunstwerk liefern. Besonders schön ist der gröfsere Hof dieses Palastes. An der einen Seite ist er von dem Hauptgebäude, welches zwei Stockwerke hoch und auf eine sehr harmonische und correcte Weise mit jonischen Säulenstellungen im untern Stockwerke und römischen im obern Geschosse verziert ist, halbkreisförmig umschlossen. Das untere Stockwerk enthält eine schöne halbrunde Säulenhalle. (Sie ist in dem erwähnten Werke auf der 49ten Tafel abgebildet.) Die Halle ist mit einem ringförmigen Tonnengewölbe bedeckt, welches in der Mitte und an den beiden Enden in Kreuzgewölbe übergeht, die von starkem Mauerwerke getragen werden und einen Mittelbau (Risalit), so wie zwei Eckbaue (Pavillons) bilden, während die ringförmigen Stücke der Halle zwischen diesen Mittel- und Eck-Bauen nur durch sehr schöne jonische Marmorsäulen von dem Hofe getrennt sind; was eine in der That wunderschöne Conception in Absicht auf Construction, Annehmlichkeit der Benutzung und architektonische Verzierung ist. Vergleicht man damit das in Ruinen vorhandene Halbrund der ***Villa Madama,*** so möchte man glauben, dafs dieses Halbrund die innere Seite einer ebenfalls nur halbkreisförmigen ähnlichen Halle habe bilden sollen; wo dann die, an und über derselben im obern Stockwerke liegenden Zimmer die schönste Aussicht nach Rom hin bekommen hätten. Die Gewölbe dieser Hallen sind, wie gesagt, von ***Taddeo Zuccari*** im Style der Loggien ***Raphaels*** gemalt: gröfstentheils laubenartig, mit reichen Traubengewinden, die auf zierlichem Gitterwerke ruhen und mit Pfauen, Papageien, Eulen und andern schön gefiederten Vögeln besetzt sind. Wäre nur Alles besser erhalten! aber auch dieses Gebäude ist eine halbe Ruine.

Taddeo Zuccari hat noch viele andere Gebäude mit Malereien verziert. ***Vasari*** giebt sie an. Sie sind aber aus etwas späterer Zeit, als der merkwürdige Palast, welchen ***Julius Pippi*** für den Marchese von ***Mantua*** verändert und verziert hat und der gewöhnlich der ***Palast des*** T genannt wird, weil er im Plane eine entfernte Ähnlichkeit mit einem grofsen lateinischen T hat. Es wurde dazu ein altes Gebäude benutzt, so dafs nicht sowohl seine Architektur im Ganzen, als vielmehr die Einrichtung und Auszierung derjenigen Zimmer und Säle, die von ***Julius Pippi*** herrühren, hier in Betracht kommen. Der Meister hat bei seinen Verzierungen nicht mehr die Ornamentirung der vaticanischen Loggien, sondern die der Stanzen im Auge gehabt, indem er die prächtigen und mannichfachen Gewölbe, so wie die Wände, mit grandiosen historischen Bildern bedeckte, die in Absicht auf Perspective

und Verkürzung mit grofser Geschicklichkeit gemacht sind. Übrigens ist hier Viel in einer künstlichen und mannichfachen Feldertheilung gesucht, durch welche die verschiedenen historischen Darstellungen von einander abgesondert sind. Es fehlt deshalb auch nicht an mannichfachen Stucco-Ornamenten; besonders ist damit ein kleines Zimmer von ***Primaticcio*** sehr schön verziert.

Ein als Maler und Bildhauer sehr berühmter Zeitgenosse von Raphael ist bekanntlich ***Michel Angelo Bonarroti,*** der auch in der Baukunst thätig gewesen ist; jedoch mehr in Veränderungen und Modificationen der Werke anderer Architekten, als in der Ausführung grofser eigener Conceptionen; welche Veränderungen ich aber, ich mufs es gestehen, so wie ich sie kenne, nicht als Verbesserungen betrachten kann. Es zeigt sich darin das Bestreben vorherrschend, durch colossale Massen Wirkung zu machen; was sehr leicht mifslingen kann. Ich bin z. B. nicht der Meinung, dafs der Palast ***Farnese,*** in der zierlichen und geschmackvollen Architektur des ***Antonio da Sangallo,*** durch das schwere Florentinische Gesims, welches ihm ***Michel Angelo*** gab, gewonnen habe. Ähnliches habe ich schon oben hinsichtlich seines Einflusses auf die Architektur der Peterskirche erwähnt.

Antonio da Sangallo verdient übrigens aus dieser Kunst-Epoche noch einer besondern Erwähnung. Von ihm ist hauptsächlich der ebengenannte grofse Palast ***Farnese*** zu ***Rom.*** Die Hauptfaçade desselben, nach dem Platze zu, ist ganz von ihm, mit Ausnahme des allzu schweren Hauptgesimses und des unschönen mittleren Fensters der Bel-Etage, die von ***Bonarroti*** herrühren. Auch ***Vignola*** und ***Giacomo della Porta*** haben Antheil an diesem Palaste; indessen ist doch der erste Entwurf dazu von ***Antonio da Sangallo.*** (In den „Palais et Maisons de Rome" sind auf Taf. 39, 40, 41, 42 und 43 Grundrifs, Aufrifs, Durchschnitt und innere Ansicht dieses Palastes abgebildet.) Ich finde in diesem, so wie in andern Werken dieses Architekten, den ersten Anfang der Schematisirung der altrömischen Architektur, d. h. des Systems, dieselbe, namentlich die Säulenstellungen, streng nach gewissen vorgeschriebenen Verhältnissen auszuführen; und Dies hat seinen einfachen Grund darin, dafs ***Sangallo*** eifrig den ***Vitruv*** studirte; wie ***Vasari*** es meldet. Er fand im Vitruv die Angabe der Verhältnisse, und benutzte sie.

Diese Schematisirung bezeichnet nun die dritte Epoche der Renaissance, da alle bedeutenden Architekten derselben sich diesem Systeme ergaben, wodurch die Architektur in dieser Art zwar zu einem hohen Grade gehoben, ihre Ausartung und ihr Verderben aber auch vorbereitet wurden.

Dritte Epoche der Wiedergeburt der römisch-griechischen Baukunst unter *Vignola, Palladio, Scamozzi* u. a.

Den Übergang zu der dritten Periode macht demnach ***Antonio da Sangollo,*** der 1470 geboren wurde und 1546 starb. Aber noch mehr zum Durchbruch kam das System durch ***Jacob Barozzi da Vignola,*** der erst 1507 geboren wurde und 1573 starb. Die höchste Vollendung erhielt es durch ***Andreas Palladio,*** geboren 1518 und gestorben 1580; überbildet wurde es schon durch ***Vincenz Scamozzi,*** geboren 1552, gestorben 1616.

In den Werken ***Vignola's*** ist noch ein Rest von romantischem Geiste, der nach ihm aus der Bauart der Italiener verschwand. Sein berühmtestes Werk, der Palast zu *Caprarola* (einer kleinen Stadt, eine Tagereise von Rom entfernt, nahe an der Landstrafse von Rom nach Florenz), giebt davon Zeugnifs.

Um die Composition desselben zu verstehen, mufs man sich in die damaligen, oft von politischen Stürmen bewegten Zeiten versetzen. Volks-Aufläufe, Kämpfe der reichen Familien untereinander, Aufruhr, plündernde Schaaren von Lanzenknechten, und Räubereien waren an der Tages-Ordnung. So war es denn ganz natürlich, dafs man einem Schlosse reicher Besitzer, in einer kleinen Stadt, ziemlich isolirt liegend, einen gewissen Grad von Fortification geben mufste, welche die Bewohner in den Stand setzte, wenigstens dem ersten Anlaufe von Feinden, die ohne schweres Geschütz anrückten, Widerstand zu leisten.

Der Cardinal ***Alexander Farnese,*** ein Neffe des Papstes ***Paul III.*** (gekrönt 1534) liefs diesen Palast erbauen. ***Antonio da Sangallo*** soll das Project dazu gemacht und ***Vignola*** es ausgeführt haben; die öffentliche Meinung schreibt das Werk aber ***Vignola*** zu. Es ist auch eins von den schönen Beispielen, wo man von dem damals normalen Grundrifs der Paläste abging; und zwar aus guten Gründen. Die fünfeckige Form des Gebäudes war für die fortificatorischen Zwecke sehr passend, und die fünf Bastionen an den Ecken schützten diese Ecken und vertheidigten die Fenster-Öffnungen der zwischen ihnen liegenden Fronten. Die Verwandlung der fünfeckigen Form in eine runde im Innern, wodurch der schöne runde Hof mit seinen Arcaden-Loggien entstand, war ebenfalls dem Zwecke der Bewohnung und den Regeln schöner Form angemessen. Endlich sind Zimmer und Säle, ungeachtet dieser ungewöhnlichen Form des Hauptrisses, regelmäfsig. Vorhalle und Treppenhaus sind passend und schön angeordnet, und in Allem vereinigen sich Zweck-

mäfsigkeit, Dauerhaftigkeit und Schönheit in seltenem Maafse. (In dem 12ten Hefte der „Maisons de plaisance de Rome" und in *Durand's* „Recueil" pl. 54 befinden sich Abbildungen dieses architektonischen Kunstwerks.) Die Arcadenloggien, so wie die vornehmsten Zimmer und Säle des Hofes, sind mit Malereien von *Annibal Caro* und den beiden *Zuccari* verziert. Wunderschön ist auch die Wirkung dieses Schlosses in der Landschaft; wo es aus waldigen Hügeln wie eine prächtige Krystallgruppe hervorragt.

Vignola hat sehr Vieles gebaut; er wurde, nach *Bonarroti's* Tode, zusammen mit *Pirro Ligorio,* selbst Architekt der Peterskirche und hat auch an manchen Gebäuden anderer Architekten Antheil.

Als eine besonders geniale und charakteristische Schöpfung *Vignola's* möchte ich noch die kleine Kirche *Sanct-Andrea* vor der porta del popolo zu *Rom* nennen (von welcher *Clochard* in seinen „Palais, Maisons et Vues d'Italie" S. 24 eine perspectivische Ansicht gegeben hat, während in den „Palais et Maisons de Rome" S. 99 ein kleiner geometrischer Aufrifs sich findet). Es thut wohl, zu sehen, wie hier einmal an einem modernen Gebäude eine Kuppel nach antiker Weise mit Geschmack und ohne die, aller Construction und Formen-Schönheit zuwiderlaufende Laterne ausgeführt ist.

Vignola war auch, wie bekannt, architektonischer Schriftsteller, und die von ihm nach den Regeln *Vitruv's* und nach eigenen Abstractionen gegebenen Vorschriften für die Formen und Verhältnisse der Säulen-Ordnungen haben Jahrhunderte lang gegolten und ihren grofsen Antheil an der Schematisirung der altrömischen Bauart gehabt.

Noch strenger systematisch ist aber *Andreas Palladio,* der einer der fruchtbarsten und fleifsigsten Architekten war, welche wohl je lebten. Bei ihm verschwindet jede architektonische Ausschmückung, die nicht zu den Säulen-Ordnungen und ihren Accessorien gehört. Alles wurde nach bestimmten, nach den von ihm aus Studien der altrömischen Bauart abstrahirten Gesetzen proportionirt und decorirt. Es bekamen dadurch seine Gebäude ein gewisses ernstes, vornehmes Ansehen: allein der romantische, wenn ich sagen darf poetische Geist verschwand auch darin bis auf die letzte Spur, wenn er sich nicht noch in der Composition der Grundrisse fände. Die meisten Werke von *Palladio* befinden sich in seiner Vaterstadt *Vicenza,* in *Venedig* und in dem Venetianischen Theile der Lombardei. (*Durand* hat den Gebäuden *Palladio's* in seinem „Recueil" drei Blätter, 49, 50 und 51 gewidmet; aufser den Abbildungen einiger Kirchen. Eine genauere Ansicht der Werke *Palladio's*

bekommt man aber aus seinem eigenen Werke über dieselben „I Quattro Libri dell'Architettura. Venetia 1581.")

Das Erste, was gewöhnlich dem Fremden in *Vicenza* von *Palladio* gezeigt wird, ist der Palast *Chiericato*. Er ist gerade nicht das Beste, aber in der That charakteristisch genug. Es fällt hier schon ein gewisser Mifsbrauch von Ornamentirung mit Säulen-Ordnungen und architektonischen Gliederungen auf; was dem Architekten, der die Kosten solcher Ornamentirungen kennt, und weifs, was mit diesen Kosten Anderes und Besseres geleistet werden könnte, mifsfällt. Dazu kommt, dafs die wenigen Verzierungen anderer Art, die in den Projecten vorkommen, in der Ausführung meistens fehlen. Ganz besonders aber ist ohne Zweifel die Kostspieligkeit die Ursach, dafs viele der gröfsten und am meisten versprechenden Compositionen *Palladio's* nur zu einem sehr kleinen Theile *fertig* geworden sind. Der Vorwurf der Überladung mit architektonischen Gliederungen trifft besonders auch die Kirchen *Palladio's*. Zwar haben dabei die reicheren Mittel die Vollendung möglich gemacht, aber man sieht doch auch an der ziemlich einfachen innern Auszierung dieser Kirchen, dafs man zuletzt gezwungen war, zu sparen. Bei dem Allen ist diese Ornamentirung nicht so harmonisch, wie sie im Alterthume vorkommt; wie z. B. am Palast *Chiericato* die vierfach gepaarten Säulen der Vorhalle und die Mezzaninenfenster über den mittleren Fenstern des Hauptstockwerks.

Sieht man dagegen auf die Erfindung der Grundrisse, auf die Proportionirung der Räume, auf die Verhältnisse der Gebäude zum Grund und Boden und der Gegend, so mag man nur bewundern und nachahmen. Und die Bewunderung und Nachahmung hat auch *Palladio* reichlich gefunden.

In *Venedig* sind von *Palladio* die sehr sehenswerthen Kirchen *San Giorgio maggiore, San Redentore, Le Zitelle* und *Santa Lucia;* in *Vicenza* viele Paläste. Ich habe dieselben, mit *Palladio's* Buch in der Hand, aufgesucht und die meisten nur mit Mühe aufgefunden, weil davon nur so wenig zur Ausführung gekommen ist. Das von ihm erbaute sogenannte olympische Theater zu *Vicenza* ist ein Versuch, die Form der antiken Theater *unter einer Dachdecke* nachzuahmen. Zum Sehen ist die Form gewifs vortrefflich, aber in akustischer Hinsicht ist sie, wie dort die Erfahrung zeigt, nicht zu empfehlen.

Die von *Palladio* in seinem Werke genannten Landhäuser haben wieder einen mehr poetischen Charakter. Bei denen, welche ich ausgeführt gesehen habe, mufste ich besonders die treffliche Stellung zu der Gegend und die

verständige Wahl des Bauplatzes bewundern; worin die italienischen Architekten denen anderer Nationen und besonders den Deutschen sehr voraus sind. Diese Landhäuser haben unzählige Nachahmungen gefunden; die ganze venetianische Lombardei ist damit, vorzüglich in der Nähe der grofsen Landstrafsen, wie besäet. Auch der Schüler und Nachahmer ***Polladio's, Vicenza Scamozzi,*** hat deren viele erbaut; so wie auch eine Anzahl Paläste, die sich im Baustyle kaum von denen ***Palladio's*** unterscheiden; nur dafs die Architektur derselben noch ernster, noch mehr schematisirt ist, und deshalb auch noch kälter läfst. Die Villen sind dagegen durch schöne Anordnung der Stellung von Haupt- und Nebengebäuden, durch schöne Formen der Hauptmassen und durch sorgfältige Verhältnisse ausgezeichnet. (***Durand*** hat mehrere derselben auf der 25ten Seite seines „Recueil" dargestellt; aber auch ***Scamozzi*** selbst hat von ihnen in seinem Buche „Idea dell'Architettura Universale 1615" Rechenschaft gegeben.) ***Scamozzi*** hatte sich einen fast europäischen Ruf erworben; so dafs auch häufig in andern Ländern, aufserhalb Italien, selbst in Deutschland, Bauwerke von ihm sich finden.

Durch ihre zahlreichen Gebäude, und vielleicht noch mehr durch ihre Schriften, wurden ***Vignola, Palladio*** und ***Scamozzi*** vor allen Andern die Verbreiter der altrömischen Bauart durch ganz Europa; bis in die entfernten nordischen Länder. Besonders in ***England*** fafste die Architektur ***Palladio's*** festen Fufs und es wurden die vielen prächtigen Landhäuser der reichen englischen Aristokratie lange Zeit in keinem andern Style erbaut. ***Inigo Jones,*** dieser berühmte englische Architekt, der 1572 geboren ward und 1651 starb, also nur zwanzig Jahr später als ***Scamozzi*** lebte, war ein unbedingter Verehrer und Nachahmer desselben, und ***Palladio's.*** Selbst nach Dänemark und Schweden verbreitete sich diese Bauart; Frankreich und Spanien nicht übergehend.

Mit dieser Epoche endigt nun eigentlich der schaffende Geist bei der Wieder-Einführung antiker Bauart. Die Architektur erstarrte jetzt gleichsam in der Schematisirung der fünf Säulen-Ordnungen und der wenigen ihnen zugehörigen Architekturgliederungen an Arcaden, Thüren- und Fenster-Einfassungen, Giebelgesimsen, Dockengeländern u. dergl. Bei Tausend und aber Tausenden von Gebäuden bekamen dieselben ganz die *gleichen* Formen und Verhältnisse,

so dafs man am Ende die Baukunst in die Kenntnifs und Befähigung, die Säulen-Ordnungen zu handhaben, setzte und die Anwendung derselben zur Grundlage aller Gebäude-Erfindung wurde. Hieraus entstand eine Einförmigkeit in der Bauart, die nach einiger Zeit zu mancherlei Ausartungen führte.

Johann Lorenz Bernini, der im Jahre 1598 in Neapel geboren und 1680 gestorben ist, bemühte sich, besonders durch colossale Massen eine neue Wirkung hervorzubringen. Er liefs die Säulen seiner Gebäude durch mehrere Stockwerke reichen und steigerte dadurch ihre Gröfse und die ihrer Gliederungen über alles Verhältnifs hinaus. Ich habe oben bemerklich gemacht, welche Mifsverhältnisse ein solches System bei der Peterskirche hervorbringt, wo die Riesengröfse doch noch in gewissem Maafse eine Art geistiger Rechtfertigung finden konnte, welche sie bei profanen Gebäuden nicht hat. Allein die Erscheinung war neu und machte Effect. *Bernini* wurde ein berühmter Architekt und fand viele Nachahmer im ganzen civilisirten Europa.

Aber schon zu seiner Zeit zeigte sich eine andere Ausartung der Bauart, in jenem widerwärtigen Schnörkelsysteme, welches die Grundlage des sogenannten *Rococostyls* bildet. Welches auch der Ursprung dieses Systems gewesen sein mag: sei es, dafs es eine übel verstandene Nachahmung chinesischer Formen und Verzierungen war, oder dafs es nach und nach sich aus der Phantasie der Architekten entwickelte: die Ursache, warum es Eingang finden konnte, war gewifs keine andere, als die Einförmigkeit, in welche die Architektur überhaupt gerathen war. Dazu kam, dafs *Ludwig XIV.* den Rococostyl adoptirte und viele Gebäude in demselben aufführen liefs; worauf dann, weil schon damals Frankreich die Moden angab, ganz Europa denselben nachahmte.

So ging es denn immer ärger in den Rococo hinein, und zwar so arg, dafs man doch am Ende desselben überdrüssig werden mufste; um so mehr, da der Rococo eben auch grade keine wohlfeile Bauart war.

Das fortgesetzte Studium des Alterthums, an welchem *Winkelmann* und seine Zeitgenossen wesentlichen Antheil haben, führte zu einem reineren Style zurück: ja man kam sogar zu einer noch gröfseren Einfachheit, wie vor der Rococozeit. Die Tempel von *Pästum*, die ähnlichen Tempel in *Sicilien*, hatten Aufmerksamkeit erregt; man kam darauf, ihre Bauart, ihre altdorischen Säulen nachzuahmen, und auch die beiden andern griechischen Säulen-Ordnungen mit ihren einfachen Gliederungen in grofsen Massen zu benutzen.

Diese Modification alter Architektur, die bei ihrer Einfachheit dennoch, mit *Bernini's* Riesigkeit zusammen, manches Extravagante hervorbrachte und welche wohl hauptsächlich in die letzten Decennien des vorigen Jahrhunderts gehört, wurde wieder verdrängt durch den Baustyl der französischen Architekten *Percier* und *Fontaine* und ihrer Schüler. Dieselben wendeten sich zurück zu der Nachahmung der besseren Meister der zweiten Epoche der italienischen Renaissance; wobei sie altrömische Verzierungen, besonders nach schönen plastischen Überresten, nach Vasen, Altären, Candelabern, Geräthschaften u. dergl. studirten und anwendeten. Sie fanden unter der Ägide *Napoleons* vielfältige Gelegenheit, ihre Talente zu zeigen; was sie auch in ihren weit verbreiteten Architekturbüchern thaten.

Allein eine noch neuere glänzende Erscheinung ist, besonders für uns Deutsche, *Schinkel* und seine Architekturschule geworden. *Schinkel* erfafste vor allem die Idee, die reineren, schöneren Formen der inzwischen mehr bekannt gewordenen altgriechischen Baukunst und ihre so graziöse Verzierungsweise in die Architektur zurückzuführen. Dabei kannte er die Kunstwerke, die ich in die zweite Epoche der Wiedergeburt der Künste gesetzt habe, sehr wohl, und hatte sie im Auge; was alles zusammen, mit solchem Talent verbunden, reizende Compositionen geben mufste.

Was die Zukunft bringen wird, da die Zeit nicht stehen bleibt, sondern immer neue Schöpfungen verlangt, läfst sich, wenn auch nicht bestimmt vorhersagen, so doch mit einiger Sicherheit ahnden.

Vor Allem möchte ich glauben, dafs die mit jedem Jahre wachsende Bedeutsamkeit der Aufgrabungen von *Pompeji*, welches zu einem wahren griechisch-römischen Architekturmuseum geworden ist, künftig einen noch weit gröfsern Einflufs auf die europäische Architektur, als seither, haben werde. Wir lernen dort die antike griechisch-römische Baukunst ganz anders kennen, als *Vignola* und *Palladio* sie kannten. Jetzt ist nicht mehr blofs von Säulen-Ordnungen die Rede, sondern wir gewinnen eine Anschauung von dieser Baukunst in ihrem ganzen Wesen: an allen Arten von Gebäuden, städtischen Wohnhäusern, ländlichen Villen, Foren und Markthäusern, Tempeln, Theatern, Bädern u. s. w. Wir lernen nicht nur ihre äufsere Gestalt und Verzierung, sondern auch ihre innere Einrichtung, ihre Construction und die Materialien kennen.

Dann möchte ich vermuthen, dafs die jetzt allgemeinere Kenntnifs so mancher herrlicher architektonischer Productionen des Mittel-Alters, wenn auch nicht durch unmittelbare Nachahmung ihrer Form, so doch durch Benutzung

ihrer schönen mannichfachen Motive, einen wesentlichen Einfluſs auf die Architektur des Zeit-Alters haben dürfte. Die gegenwärtig durch gute architektonische Kupferwerke so leicht gewordene Kenntniſs des Bauwesens aller Völker und aller Zeiten wird gewiſs ebenfalls ihre guten Früchte tragen.

Ferner dürfte auch noch die Vereinigung der Baukunst mit einer andern Kunst, die sich in unserer Zeit im Stillen zu einer Vollkommenheit ausgebildet hat, welche sie noch nie in irgend einem Zeit-Alter hatte, ich meine die ***Gartenkunst,*** der Baukunst Schönheiten zuführen, welche die anmuthigsten Wirkungen machen können und dabei die Geld-Ausgaben weniger in Anspruch nehmen, als die Verzierungsmittel der Architektur.

Daſs endlich auch die Fortschritte der Malerei und Sculptur auf die Baukunst einwirken und geistlose Ornamentirungen immer mehr verdrängen werden, ist nicht zu bezweifeln.

Cassel im Januar 1850.

9.

Über die Form der Spitzen einzurammender Pfähle.

(Von dem Herrn Wegebaumeister *Kossak* zu Lauenburg in Pommern.)

Wenn es nur darauf ankommt, ein Loch in einer dünnen Wand zu machen, ist offenbar die pyramidale oder kegelförmige Spitze die beste. Für Pfähle, die in die Erde eingerammt werden sollen, ist aber der Einflufs zu untersuchen, welchen die Form der Spitze auf das Wegdrängen und Zusammenpressen der den Pfahl umgebenden Erde hat.

Giebt man einem Pfahle am Stamm-Ende eine kegelförmige Spitze und rammt ihn in die Erde, so kommt es vorzugsweise auf das Wegdrängen und Zusammenpressen der Erde durch das Rammen *längs der Spitze* an; die *Reibung* längs der Pfahlwände ist weniger bedeutend.

Nimmt man nun an, dafs die Erde rings um die Spitze bis zu einer Breite b zusammengepreſst werden mufs, so läfst sich der körperliche Inhalt dieses zusammengepreſsten Raums, oder der Querschnitt desselben, auf folgende Weise annähernd bestimmen. Die Spitze habe, in der Mitte ihrer Länge, den Durchmesser r, so ist die Fläche des Querschnitts der comprimirten Erde, mit Einschlufs des Pfahls,

$$1. \qquad F = \pi(b + \tfrac{1}{2}r)^2.$$

Je gröfser, unter übrigens gleichen Umständen, diese Fläche ist, je weniger wird die Erde zusammengedrängt, und leistet daher beim Rammen weniger Widerstand.

Giebt man demselben Pfahl nicht eine Spitze, sondern eine *Schärfe*, von gleicher Länge (wie gewöhnlich vom Dreifachen der Dicke des Pfahls), so dafs er nur von *zwei* Seiten glatt behauen wird, so ist in der Mitte der Länge dieser Schärfe die Fläche des Querschnitts der comprimirten

Erde, mit Einschlufs des Pfahls,

$$2. \quad F_1 = \pi(b+r)(b+\tfrac{1}{2}r);$$

wo die Grenzlinie der zusammengedrückten Erde ohne Nachtheil als Ellipse betrachtet werden kann, obgleich sie in der Wirklichkeit etwas gröfser sein wird.

Aus dem Vergleich der beiden Ausdrücke (1. und 2.) läfst sich nun näherungsweise der Einflufs ermitteln, welchen die Form der Spitze auf den Widerstand der einzurammenden Pfähle ausübt.

Die Bestimmung des Werths von b, oder die Ermittelung, wie weit sich die Comprimirung der Erde um den Pfahl erstreckt, hangt zunächst von der Dicke $2r$ des Pfahls ab, und dann von der Beschaffenheit der Erde. Da letztere sehr verschieden ist, so sollen nur die Fälle betrachtet werden, wenn $b = r$ und $= 2r$ ist.

Wird in den obigen Gleichungen (1. und 2.) $b = r$ gesetzt, so ergiebt sich

$$F = \frac{9}{4}r^2 \quad \text{und} \quad F_1 = \frac{12}{4}r^2$$

und daher $F : F^1 = 3 : 4$.

Für $b = 2r$ findet sich

$$F = \frac{25}{4}r^2 \quad \text{und} \quad F_1 = \frac{29}{4}r^2,$$

also $F : F^1 = 25 : 29$.

Da sich nun die zum Einrammen der Pfähle nöthigen Kräfte näherungsweise umgekehrt wie die Flächen F und F_1 verhalten, so werden im ersten Fall, unter gleichen Umständen, 4 Pfähle mit *runden Spitzen* einzurammen eben so viel kosten, als 3 Pfähle mit *Schärfen,* wie oben angegeben. Der Unterschied wird geringer sein, wenn die Erde weicher und nachgiebiger ist, aber auch gröfser, wenn sie weniger compressibel ist.

Schon *Eytelwein* sagt in seiner „Practischen Anweisung zur Wasserbaukunst", dafs Pfähle mit *runden* und *vierseitigen* Spitzen schwerer als Pfähle mit *dreiseitigen* Spitzen einzurammen sind. Es folgt Dies aus demselben Grunde, wie hier nachgewiesen, dafs Pfähle mit *zweiseitigen Schärfen* leichter eindringen.

Verfasser Dieses hat beim Bau einer massiven Brücke einigen Hundert Pfählen zu der Spundwand des einen Pfeilers gröfstentheils *vierseitige Spitzen,*

und eben so vielen Pfählen zur Spundwand des andern Pfeilers gröfstentheils *Schärfen* geben lassen, und die Kosten des Einrammens der erstern verhielten sich zu denen der letztern nahe wie 9 zu 7. Da auf beiden Seiten die Umstände dieselben waren, auch der Grund und Boden aus einem gleichmäfsigen Sandlager bestand, so konnte der Unterschied der Kosten nur von der Form der Spitzen herkommen. Auch ergab sich beim Vergleich der Zugtiefen der verschieden zugespitzten Pfähle, für gleich starke Spitzen, ein Vortheil für die Pfähle mit *Schärfen*.

Lauenburg in Pommern im September 1850.

10.

Zur Theorie der Gewölbe.

(Von dem Herrn Bau-Conducteur *Scheffler* zu Braunschweig.)

A. Bogen mit zwei congruenten Hälften.

Der Einfachheit wegen betrachten wir zuerst einen aus zwei congruenten Schenkeln AC und BC (Taf. No. 2. Fig. 8) zusammengesetzten Gewölbbogen, welcher, aufser mit dem Gewichte seiner eigenen Theile, noch mit beliebigen andern, vom Scheitel C aus nach beiden Seiten symmetrisch geordneten Gewichten belastet sein kann. Dieser Bogen, welcher aus einzelnen keilförmigen Gewölbsteinen von *unprefsbarem* Material zusammengesetzt sein soll, stütze sich mit seinen Endflächen A und B gegen zwei feste Widerlagen. Die Wölbsteinmasse ist in den Fugenflächen den Gesetzen der *Reibung* unterworfen; wobei jedoch die Adhäsion des etwa vorhandenen Mörtels aufser Acht gelassen wird. Es fragt sich, ob der Bogen in sich im Gleichgewichte sein kann und, wenn es so ist, welche Pressungen die Widerlagen bei A und B erleiden.

Wegen der in Beziehung zum Scheitel symmetrischen Form der beiden Bogenhälften leuchtet ein, dafs die Angriffpuncte A und B der Widerstände R_1 und R_2 der Stützflächen auch gegen die durch den Scheitel gehende Verticale DP symmetrisch liegen werden, dafs also die Verbindungslinie AB horizontal sein wird; wie auch sonst die Puncte A und B in den Stützflächen variiren mögen. Zerlegt man daher die Widerstände R_1 und R_2 in ihre verticalen und horizontalen Componenten P_1, Q_1 und P_2, Q_2, so mufs $P_1 = P_2$, gleich dem Gewichte einer Bogenhälfte mit ihrer Belastung, und die Seitenkraft $Q_1 = Q_2$ mufs, nach dem Principe des kleinsten Widerstandes, ein Minimum sein.

Betrachtet man jetzt irgend eine Bogenhälfte, z. B. die AC, für sich, und ist Ep_1 die durch den Schwerpunct dieser Hälfte nebst deren Belastung gehende Verticale, so folgt, dafs zur Erhaltung des Gleichgewichts dieser Masse noch eine gegen den Scheitel wirkende Kraft nöthig ist, deren Richtung CE durch den Durchschnittspunct E der Verticale Ep_1 mit der Richtung AE des

Widerstandes R_1 geht. Da nun die verticale Componente von R_1 gleich dem in der Richtung Ep_1 wirkenden Gewichte P_1 ist, so folgt ohne Schwierigkeit, dafs die Spannung im Scheitel C des Bogens nothwendig gleich der zweiten Componente Q_1 des Widerstandes R_1 sein und eben wie diese in *horizontaler* Richtung CE liegen mufs.

Nach dem Vorstehenden brauchte man also nur die eine Bogenhälfte AC ins Auge zu fassen und die Bedingungen zu suchen, unter welchen dieselbe, wenn sie sich bei A gegen eine feste Fläche stützt und bei C von einer *horizontalen* Kraft getrieben wird, im Gleichgewicht zu bleiben vermag, und falls dies angeht, welches der *möglich-kleinste* Werth der fraglichen horizontalen Kraft Q_1 und welches deren Angriffspunct sei.

Es seien in (Fig. 9)

ab, a_1b_1, a_2b_2, a_3, b_3 die Fugenschnitte irgend eines Gewölbbogens;

P_1, P_2, P_3, die in den verticalen Richtungen wirkenden Gewichte der Theile abb_1a_1, abb_2a_2, abb_3a_3, nebst den resp. auf dem Umfange in bb_1, bb_2, bb_3, ruhenden Belastungen; wobei diese Belastungen sowohl in stetig zusammenhängenden Massen, als in einzelnen Gewichten bestehen können;

Q eine in dem Puncte C der obersten Fuge angebrachte horizontale Kraft, welche die Richtungen der Gewichte P_1, P_2, P_3 in den Puncten C_1, C_2, C_3 durchschneidet und welche, nebst dem gegen die unterste Fuge a_3b_3 wirkenden Widerstande R_1, den Gewölbbogen im Gleichgewicht erhalten soll.

Zeichnet man in den Eckpuncten C_1, C_2, C_3, über den zusammengehörigen beiden Kräften Q und P_1, Q und P_2, Q und P_3 Rechtecke, zieht die Diagonalen, welche alsdann die Resultanten von je zweien dieser Kräfte nach Gröfse und Richtung darstellen, und verlängert dieselben resp. bis zu den Durchschnitten A_1, A_2, A_3 mit den Fugen a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3: so stelllen die Puncte C, A_1, A_2, A_3 die Angriffpuncte der Mittelkräfte vor, mit welchen die Fugen ab, a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3 in den Richtungen QC, C_1A_1, C_2A_2, C_3A_3 gedrückt werden. Es leuchtet ein, dafs die feste Widerlagsfläche a_3b_3 bei A_3 mit einer Kraft R_1 widerstehen mufs, welche in der Richtung A_3C_3 liegt, und deren verticale Componente gleich P_3 oder gleich dem Gewichte des Bogens abb_3a_3 nebst dessen Belastung ist, während ihre horizontale Componente den Werth Q hat.

Damit nun der Gewölbbogen unter der Wirkung der horizontalen Kraft Q überhaupt im Gleichgewicht bleiben könne, ist es nothwendig:

Erstlich, dafs die Durchschnittspuncte C, A_1, A_2, A_3 *innerhalb* der Fugenflächen ab, a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3 liegen. Wäre Dies bei irgend einer Fuge nicht der Fall: läge z. B. der Punct A_2 oberhalb des Punctes b_2, so würde die Masse abb_2a_2 um die Kante b_2 gedreht und übergestürzt werden. Die vorstehende Bedingung sichert also das Gleichgewicht des Bogens gegen die ***Drehung*** um irgend eine Fugenkante.

Zweitens ist es nöthig, dafs die Richtungen QC, C_1A_1, C_2A_2, C_3A_3 der auf die Fugenschnitte ab, a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3 wirkenden Pressungen mit den Normalen auf den Fugenflächen Winkel einschliefsen, welche nicht gröfser sind als die ***Reibungswinkel***. Denn wäre Dies z. B. in der Fuge a_2b_2 der Fall, so würde die Masse abb_2a_2 in der Richtung b_2a_2 auf dieser Fuge herabgleiten. Die letztere Bedingung sichert demnach das Gleichgewicht des Bogens gegen das ***Gleiten*** auf irgend einer Fugenfläche.

Da die Reibung der zu Gewölben gewöhnlich dienenden Stoffe fast immer so stark ist, dafs der Einsturz des Gewölbbogens in Folge eines ***Gleitens*** nicht zu befürchten ist, so kann die letztere Bedingung im Nachfolgenden vorläufig aufser Acht bleiben; in der Voraussetzung, dafs von dieser Seite keine Gefahr des Einsturzes des Bogens vorhanden sei, und es ist das in Rede stehende Gleichgewicht nur in Rücksicht auf die mögliche ***Drehung*** um irgend eine Kante zu betrachten.

a. Gleichgewicht gegen die Drehung.

Wenn der Gewölbbogen zwischen den Endflächen ab und a_3b_3 nur eine endliche Anzahl von Fugenschnitten hat, so wird die Verbindungslinie $CA_1A_2A_3$, welche *die Mittellinie des Drucks* heifsen soll, eine gebrochene Linie sein. Stellte man sich jedoch, um die Untersuchung möglichst zu verallgemeinern, vor, der Bogen bestehe aus einer unendlichen Menge sehr schmaler Wölbsteine, so wird die Mittellinie des Drucks die Form einer stetigen Curve annehmen, welche unter andern auch die Puncte C, A_1, A_2, A_3 enthält, insofern nur die Belastung des Bogens irgend wie *stetig* über denselben vertheilt ist. Kämen, neben einer *stetigen* Belastung, wie sie theils durch das eigene Gewicht der Bogentheile, theils durch eine etwaige Übermauerung oder Überdeckung mit andern stetig zusammenhangenden Stoffen gewöhnlich Statt findet, noch einzelne, in beiden Bogenhälften symmetrisch *liegende Puncte* vor, in welchen das Gewölbe endliche Gewichte zu tragen hätte, so würde Dies der Mittellinie des Drucks an den betreffenden Stellen eine abweichende Gestalt geben.

Hätte z. B. der Punct b_1 (Fig. 10) in der äufsern Wölbungslinie das Gewicht S zu unterstützen, welches seinen Druck nur auf den unterhalb der Fuge b_1a_1 liegenden Bogentheil $b_2b_1a_1a_2$ und nicht auf den oberhalb der Fuge liegenden Bogentheil ausübte, so würde sich durch die Zusammensetzung der horizontalen Kraft Q mit dem auf b_1baa_1 wirkenden Gewichte P_1 der in der Fuge b_1a_1 liegende Punct A_1 für die Mittellinie des Drucks finden. Ist T die Summe von P_1 und S, MT die durch den gemeinschaftlichen Schwerpunct von P_1 und S gehende Verticale, und MB_1 die Richtung der Diagonale des durch die Kräfte Q und T bestimmten Rechtecks: so giebt offenbar der Durchschnitt der Diagonale mit der Fuge b_1a_1 den Anfangspunct B_1 für den unterhalb dieser Fuge liegenden Theil B_1B_2 der Mittellinie des Drucks. Die obengenannte Curve wird also in der Fuge b_1a_1 gewissermaafsen plötzlich abgerissen, und bildet zwei für sich bestehende Zweige CA_1 und B_1B_2.

Es ist leicht zu sehen, dafs der Punct B_1 stets zwischen A_1 und b_1 liegen müsse und weder in der Richtung A_1b_1 über b_1 hinaus, noch in der Richtung b_1A_1 über A_1 hinaus fallen könne: gleichviel, ob der Punct A_1 innerhalb der Bogendicke, oder irgendwo aufserhalb des Bogens in der Verlängerung der Fugenrichtung a_1b_1 sich befinden möge. Träfe A_1 mit b_1 zusammen, so würde auch B_1 in den Punct b_1 fallen. Wenn man sich nun, unter Beibehaltung der Gröfse und des Angriffpunctes der horizontalen Kraft Q vorstellt, das Gewicht S sei nicht da, und es stellt alsdann CA_1A_2 die stetige Mittellinie des Drucks vor, so sei D ein Durchschnittspunct dieser Curve mit der durch b_1 gelegten Verticale Sb_1N. Solcher Durchschnittspuncte wird es in der Regel nur einen geben; es sind indessen zuweilen auch *mehrere* möglich. Fügt man jetzt zur Belastung des Bogens das in der Richtung Sb_1D wirkende Gewicht S wieder hinzu, *indem man die Kraft Q ungeändert läfst,* so ist leicht zu sehen, dafs in der dann entstehenden unstetigen Mittellinie des Drucks $CA_1B_1B_2$ der obere Theil CA_1 mit dem frühern identisch bleibt, während der untere Theil B_1B_2 den Theil A_1A_2 der frühern Mittellinie des Drucks in den Puncten D durchschneidet, indem alle übrigen Puncte dieses Theils B_1B_2 zwischen der Curve A_1A_2 und der Verticalen SN liegen.

Wäre die Fuge b_1a_1, gegen deren obere Kante das endliche Gewicht S wirkt, *vertical,* wie die Scheitelfuge ba, so würden die drei Puncte A_1, B_1 und D in einen *einzigen* zusammenfallen und mithin die Mittellinie des Drucks daselbst eine nach aufsen springende *scharfe Ecke* bilden. Handelte es sich hierbei um die Scheitelfuge ba selbst, so müfste das aus zwei congruenten,

symmetrisch belasteten Bogenhälften bestehende Gewölbe in seinem Scheitel mit dem Gewichte $2S$ belastet sein, wovon die eine Hälfte S auf die Bogenhälfte abb_2a_2 links und die andere Hälfte S auf die Bogenhälfte rechts zu rechnen wäre.

Eine solche scharfe Ecke würde auch bei denjenigen besondern Mittellinien des Drucks entstehen, welche durch den Punct b_1 gehen, indem alsdann die vier Puncte A_1, B_1, D und b_1 zusammenfielen.

Läge der Punct A_1 aufserhalb des Gewölbbogens, und zwar in der *aufwärts* gerichteten Verlängerung von a_1b_1, so dafs alsdann der zwischen A_1 und b_1 fallende Punct B_1 *unterhalb* A_1 läge, so würde der Durchschnitt D der Verticalen SN mit der frühern Curve CA_1A_2 ganz aufserhalb des neuen Curvenschenkels B_1B_2 fallen; der letztere würde dann schon von B_1 an ganz rechts von A_1A_2 bleiben und nur das Bestreben haben, bei seiner principienmäfsigen Fortsetzung nach oben durch den Punct D zu gehen.

Erwägt man, dafs in der Wirklichkeit niemals auf einen mathematischen Punct eines physischen Körpers ein endlicher Druck ausgeübt werden kann, dafs sich derselbe vielmehr immer auf eine, wenn auch noch so geringe Erstreckung zu beiden Seiten des Puncts stetig vertheilt, so dafs sich gegen die Enden dieser Erstreckung die Wirkung des Drucks allmälig bis zum Verschwinden verliert: so folgt, dafs die Mittellinie des Drucks, selbst in dem eben behandelten Falle, stets eine *stetige* Curve bilden wird, welche in der Nachbarschaft der Fuge b_1a_1 zwei sehr starke Biegungen nach entgegengesetzten Seiten und einen Wendepunct hat; wie die zusammenhangende Linie $CDEB_2$ (Fig. 11) es vorstellt.

Die Form des stark gekrümmten Theils DE dieser Linie würde sich allerdings erst dann genau zeichnen lassen, wenn man das Gesetz kennte, nach welchem sich der Druck S über die benachbarten Theile des Gewölbes vertheilt. In Ermangelung Dessen wird man die abgerissene Curve $CA_1B_1B_2$ zeichnen und dann das kurze Stück DE nach dem Augenmaafse einschalten müssen, so dafs man es immer nur mit *ununterbrochenen* und *stetigen* Mittellinien des Drucks zu thun hat; was bei den spätern Untersuchungen vorausgesetzt wird.

Für diese Untersuchungen sind folgende Eigenthümlichkeiten der Mittellinien des Drucks wichtig, welche sich leicht nachweisen lassen, sobald nur die Neigung der Fugenschnitte ba, b_1a_1, b_2a_2, ... gegen die Verticale von der linken Seite her, nirgends gröfser ist als 90 Grad; wie in allen Fällen der Ausübung.

Es sei ***DEFGH*** (Fig. 12) die Curve, welche sich ergiebt, wenn man die durch die Schwerpuncte der früher genannten Gewichte P_1, P_2, P_3, ... gehenden Verticalen bis zu den Durchschnitten mit den correspondirenden Fugenrichtungen verlängert und diese Durchschnittspuncte durch einen stetigen Zug mit einander verbindet; gleichviel, ob die Puncte innerhalb oder aufserhalb des Gewölbbogens liegen. Ist nun ***C*** der Angriffpunct irgend einer gegen die Scheitelfuge wirkenden horizontalen Kraft ***Q***, welche eine durch ***C*** gehende Mittellinie des Drucks erzeugen soll, und trifft die durch ***C*** gelegte Horizontale ***CM*** die erstere Curve in beliebig vielen Puncten, wie ***E***, ***G***, so dafs einzelne Theile, wie ***DE***, ***GH***, jener Curve *unterhalb*, andere Theile, wie ***EFG***, *oberhalb* der genannten Horizontalen liegen: so wird jede im Puncte ***C*** ihren Anfang nehmende Mittellinie des Drucks, wie ***CIEKGL***, der zugehörige Werth von ***Q*** mag grofs oder klein sein, immer durch die Puncte ***C***, ***E***, ***G*** gehen; aufserdem werden die Theile ***CIE***, ***GL*** stets *unterhalb* der Horizontalen ***CM***, aber doch zwischen derselben und den Curvenstücken ***DE***, ***GH*** liegen, und die Theile, wie ***EKG***, stets *oberhalb* derselben Horizontalen, wiewohl zwischen derselben und den Curvenstücken, wie ***EFG***.

Was so eben über die relative Lage der Mittellinie des Drucks ***CIEKGL*** gegen die Horizontale ***CM*** und gegen die Curve ***DEFGH*** gesagt ist, gilt auch dann noch, wenn die Horizontale ***CM*** die letztere Curve in *gar keinem* Puncte trifft, also entweder ganz über, oder ganz unter derselben liegt. Fast in allen Fällen der Ausübung bildet ***DEFGH*** eine Curve, welche in allen Theilen tiefer liegt, als der tiefste Punct der Scheitelfnge des Gewölbes, so dafs sie in der Regel ganz unterhalb der Horizontalen ***CM*** verbleibt, so lange der in der Scheitelfuge liegende Punct ***C*** innerhalb der Bogenmasse angenommen wird. Diese Curve stellt offenbar diejenige Mittellinie des Drucks vor, für welche der horizontale Druck $Q = 0$ angenommen wird und bei welcher alsdann die Lage des Angriffpuncts der Kraft Null im Scheitel ganz gleichgültig bleibt.

Wenn man den Angriffpunct ***C*** der horizontalen Kraft ***Q*** beibehält, die Stärke dieser Kraft aber *vergröfsert*, so ergiebt sich statt der Linie ***CIEKGL*** eine neue Mittellinie des Drucks, welche zwar ebenfalls im Puncte ***C*** ihren Anfang nimmt und durch die Puncte ***E***, ***G*** geht, aber sonst in allen Theilen zwischen der Horizontalen ***CM*** und der ersten Mittellinie des Drucks liegt, so dafs sich die Theile ***CIE*** und ***GL*** *heben*, während sich die Theile wie ***EKG*** *senken*, und *alle* Theile der Horizontalen ***CM*** näher zu kommen streben.

Vermindert man dagegen die Stärke der horizontalen Kraft Q, unter Beibehaltung ihres Angriffpuncts C, so wird die neue, gleichfalls durch C, E, G gehende Mittellinie des Drucks sich in allen andern Puncten weiter von der Horizontalen CM entfernen, indem sich die Theile CIE und GL *senken*, während sich die Theile wie EKG *heben*.

Verlegt man den Angriffpunct C in verticaler Richtung, indem man die Stärke der Kraft Q ungeändert läfst, so wird die neue Mittellinie des Drucks in allen ihren Theilen entweder *über* oder *unter* der $CIEKGL$ liegen, ohne mit dieser irgend einen Punct gemein zu haben, je nachdem die Verlegung des Puncts C nach *oben* oder nach *unten* Statt gefunden hat.

Wenn man sowohl die Stärke, als den Angriffpunct der Kraft Q beliebig verändert, so lassen sich dadurch Mittellinien des Drucks hervorbringen, welche sich gegenseitig *treffen*. Aber je zwei solcher Curven, wie $CEGI$ und $C'E'G'I'$ (Fig. 13), welche sich in irgend einem Puncte D begegnen, treffen sich auch in allen mit D in derselben Horizontalen liegenden Puncten D, F, G (falls solche Puncte aufser D noch vorhanden sind), und sonst in weiter keinen höher oder tiefer liegenden Puncten. Daraus folgt auch, dafs das Treffen zweier solcher Curven in Puncten wie D, welche nicht Culminationspuncte mit horizontalen Tangenten wie C, E, G sind, nur in einer Durchschneidung und nicht in einer Berührung der beiden Curven bestehen kann, dafs dagegen das Treffen in Culminationspuncten, mit horizontalen Tangenten, wie C, E, G, durchaus einer Berührung der beiden Curven entsprechen mufs. Diese Folgerung ergiebt sich aus der vorstehenden Behauptung leicht, sobald man die Berührung zweier Curven als das Zusammenfallen zweier unendlich benachbarter Puncte oder eines Längen-Elements derselben ansieht.

Was den Nachweis der vorangehenden Behauptung betrifft, so sei P_1, für die Mittellinie des Drucks $CEGI$, das Gewicht, welches der durch D gehenden Fuge entspricht, p_1 der Abstand des Puncts D von der durch den Schwerpunct des Gewichts P_1 gehenden Verticale: dann ist $p_1 P_1$ das Moment von P_1 in Beziehung zum Puncte D. Ferner sei Q der in C wirkende horizontale Druck und z die Tiefe von D unter der durch C gelegten Horizontalen: dann ist zQ das Moment von Q in Beziehung zu demselben Puncte D. Dem Wesen der Mittellinie des Drucks, von welchem D ein Punct ist, gemäfs, ist

$$zQ = p_1 P_1.$$

Ist jetzt F ein mit D in derselben Höhe liegender Punct derselben Mittellinie des Drucks, P_2 das der Fuge von F angehörige Gewicht und p_2 der

Abstand des Puncts F von dem Schwerpuncte des Gewichts P_2, so mufs auch

$$zQ = p_2 P_2,$$

mithin nothwendig

$$p_1 P_1 = p_2 P_2$$

sein.

Geht nun eine zweite Mittellinie des Drucks $C'E'G'I'$, für welche der horizontale Schub bei C' gleich Q' und die Tiefe von D unter der durch C' gelegten Horizontalen gleich z' ist, ebenfalls durch den Punct D, so dafs

$$z'Q' = p_1 P_1$$

ist, so wird auch, weil $p_1 P_1 = p_2 P_2$ ist,

$$z'Q' = p_2 P_2$$

sein; d. h. die zweite Mittellinie des Drucks wird auch durch den Punct F der ersten gehen.

Ist dagegen I ein mit dem Puncte D nicht in gleicher Höhe liegender Punct der ersten Mittellinie des Drucks, P_3 das der Fuge zu I angehörige Gewicht, p_3 der Abstand des Puncts I von der durch den Schwerpunct jenes Gewichts gehenden Verticalen, und h der Höhen-Unterschied der beiden Puncte D und I, so erhält man für diese Puncte die beiden Gleichungen

$$zQ = p_1 P_1 \quad \text{und} \quad (h+z)Q = p_3 P_3,$$

aus welchen sich

$$Q = \frac{p_3 P_3 - p_1 P_1}{h} \quad \text{und} \quad z = \frac{p_1 P_1 h}{p_3 P_3 - p_1 P_1}$$

ergiebt.

Da hiernach, sobald h einen endlichen Werth hat, oder sobald zwei Puncte, wie D und I, nicht in gleicher Höhe liegen, die Gröfsen Q und z oder die Stärke und der Angriffpunct der horizontalen Kraft Q stets einen bestimmten Werth annehmen, wodurch nur eine einzige Mittellinie des Drucks $CDEGI$ gegeben ist: so folgt, dafs durch zwei, nicht in einerlei Höhe liegende Puncte nur eine einzige Mittellinie des Drucks möglich ist, oder dafs sich zwei solche Curven niemals in zwei Puncten von verschiedener Höhe treffen können.

Sämmtliche construirbaren Mittellinien des Drucks haben Das gemein, dafs ihre Tangenten im Anfangspuncte C horizontal sind (sofern nur nicht gerade im Scheitelpuncte ein isolirtes endliches Gewicht aufgelegt sein sollte) und dafs sie sich in ihren tieferen Theilen (wenn man dieselben principienmäfsig über die feste Widerlagsfläche ins Unendliche verlängert sich vorstellt) einer und derselben, als Asymptote anzusehenden Curve zu nähern streben.

Die letztere Curve, welche oben schon einmal betrachtet ist, stellt die Mittellinie des Drucks vor, für welche der horizontale Schub Q gleich Null gesetzt wird, und welche die Durchschnittspuncte der Gewichte P_1, P_2, P_3, ... mit den betreffenden Fugenrichtungen enthält.

Die vorstehenden Eigenschaften gelten auch für die unstetigen Mittellinien des Drucks, welche aus dem Vorhandensein isolirter Gewichte entstehen. Durch Einschaltung des kurzen, stetigen Verbindungsstücks von starker Krümmung wird man immer leicht im Stande sein, zu urtheilen, ob irgend eine angenommene relative Lage zweier solcher Linien möglich sei, oder nicht, und ob es sich dabei um ein Durchschneiden handele, oder nicht. So ist z. B. die relative Lage der ausgezogenen und der punctirten Curve in (Fig. 14) möglich, und entspricht *keiner* Durchkreuzung. Die relative Lage der beiden Curven in (Fig. 15) ist zwar ebenfalls möglich, setzt jedoch eine Durchkreuzung bei drei in einerlei Höhe liegenden Puncten voraus, und es könnten in dieser Lage an keiner andern Stelle die beiden Curven sich treffen. Die relative Lage der beiden Curven in (Fig. 16) ist unmöglich, weil sich dieselben schneiden mufsten, ohne gleichzeitig die beiden mit diesem Durchschnittspuncte in einerlei Höhe liegenden Puncte gemeinschaftlich zu enthalten.

Wenn man alle Fugenschnitte über ihre, aufserhalb des Gewölbbogens liegenden Convergenzpuncte hinaus verlängert und alle denkbaren Mittellinien des Drucks untersucht, welchen in jenen Fugenrichtungen Puncte angehören, die jenseit der ebengenannten Convergenzpuncte liegen: so ist hinsichtlich der relativen Lage dieser Curven in dem bezeichneten Bereiche noch Folgendes zu bemerken.

Es sei A_2 (Fig. 17) der Convergenzpunct der beiden Fugenschnitte b_2a_2 und b_3a_3. Sollte durch diesen Punct eine Mittellinie des Drucks gehen, so könnte derselbe, sowohl als Angriffpunct der Pressung auf die Fuge b_2a_2, wie als Angriffpunct der Pressung auf die Fuge b_3a_3 angesehen werden. Im ersten Fall würde jener Punct, obgleich er auch in der Fugenrichtung b_3a_3 liegt, doch für diese Fuge durchaus nicht die Bedeutung eines zugehörigen Puncts der Mittellinie des Drucks haben: eine Eigenschaft, die ihm nur in Beziehung zu der Fuge b_2a_2 zukäme. Wäre z. B. $A_1A_2A_3$ eine Mittellinie des Drucks, welche unter der obigen Voraussetzung durch den Punct A_2 und irgend einen zweiten A_1 ginge: so würde vielmehr A_3 der fragliche, für die Fuge b_3a_3 gültige Punct sein. Forderte man jetzt, dafs A_2 in Beziehung zur Fuge b_3a_3 der Punct einer Mittellinie des Drucks sei, welche gleichfalls durch A_1

geht, so würde man eine andere Curve $A_1 A'' A_2$ erhalten, bei welcher A_2 für die Fuge $b_2 a_2$ durchaus nicht die fragliche Bedeutung hätte, indem der zugehörige Punct für diese Fuge in A'' läge. Demnach wird es hier möglich sein, Mittellinien des Drucks zu zeichnen, welche sich in mehr als einem, in verschiedenen Höhen liegenden Puncten treffen; wie die beiden Curven $A_1 A_2 A_3$ und $A_1 A'' A_2$, welche in ungleicher Höhe die beiden Puncte A_1 und A_2 gemein haben. Allein, wenn man erwägt, dafs der Punct A_2 in beiden Curven nicht gleichzeitig die Bedeutung eines Puncts der beiden Mittellinien des Drucks *für eine und dieselbe Fuge* hat, so sieht man, dafs die obigen Eigenschaften der Mittellinien des Drucks vollkommene Gültigkeit behalten, sobald man in denselben, statt des allgemeinen Begriffs des ***Durchschneidens*** oder ***Treffens*** zweier solcher Curven, den engern Begriff des ***Zusammenfallens*** zweier ***Puncte*** der Curven substituirt, welche in beiden Curven den Angriffpunct der Pressung für *eine und dieselbe* Fuge darstellen. Eben so hat man bei der Bezeichnung des ***Höher-*** oder ***Tieferliegens*** der einen Curve, gegen die andere, nur darauf zu achten, dafs die der nämlichen Fuge in beiden Curven angehörigen Angriffpuncte der Pressungen in diesen Fugenrichtungen resp. überall *höher*, oder überall *tiefer* liegen; wie z. B. in der Curve $A_1 A'' A_2$ alle correspondirenden Puncte, mit Ausnahme des Anfangspunctes A_1, höher liegen, als in der Curve $A_1 A_2 A_3$, obgleich dieselben noch den zweideutigen Punct A_2 gemein haben.

Gehen wir nunmehr auf die Untersuchung der Bedingungen für das Gleichgewicht eines gewölbten Bogens näher ein.

Vor Allem ist zu bemerken, dafs, wenn das Gewölbe überall so dick ist, dafs sämmtliche, durch die Schwerpuncte der Gewichte P_1, P_2, P_3, ... gehende Verticalen $C_1 P_1$, $C_2 P_2$, $C_3 P_3$, ... (Fig. 9) resp. die zugehörigen Fugen $b_1 a_1$, $b_2 a_2$, $b_3 a_3$, ... innerhalb der Gewölblinien $b b_1 b_2 b_3$ und $a a_1 a_2 a_3$ durchschneiden, oder wenn die Mittellinie des Drucks, die einem Horizontalschube $Q = 0$ entsprechen würde, nirgends aus der Gewölbdicke heraustritt, durchaus keine horizontale Kraft im Scheitel nöthig sein wird, um das Gleichgewicht zu erhalten; vorausgesetzt, dafs die Verticalen $C_1 P_1$, $C_2 P_2$, $C_3 P_3$, ... mit den Normalen auf den betreffenden Fugenschnitten Winkel einschliefsen, welche nirgends gröfser sind, als der dem Wölbsteinstoffe zukommende Reibungswinkel, so dafs auch das Gleichgewicht gegen das Gleiten überall gesichert ist.

Unter diesen Umständen, welche z. B. Statt finden, wenn bei dem Aufmauern des Gewölbes erst die untersten Wölbsteinschichten gesetzt worden

sind, empfängt jeder Fugenschnitt, so wie auch die feste Widerlagsfläche, nur einen verticalen Druck, und es pflanzt sich überall kein Seitenschub auf die Widerlage fort.

Jedoch ist leicht zu sehen, dafs wenn es sich in aller Strenge um einen Gewölbbogen handelte, dessen Scheitelfuge vertical wäre und welcher aus lauter unendlich dünnen Wölbesteinen bestände, der vorerwähnte Zustand nicht eintreten könnte, weil für $Q=0$ die Neigungswinkel der Verticalen $C_1 D_1$. oder der Pressungen gegen die dem Scheitel zunächst liegenden Fugenschnitte, jedenfalls gröfser werden würden, als irgend ein möglicher Reibungswinkel, so dafs also in solchen fingirten Gewölbbogen stets ein gewisser, wenn auch noch so kleiner horizontale Schub entsteht. In der Wirklichkeit, wo keine Gewölbe aus unendlich dünnen Wölbsteinen vorkommen, ist der fragliche Zustand übrigens recht wohl möglich, wenn gleich es in der gewöhnlichen Ausübung nicht leicht der Fall sein dürfte.

Dafs die eben betrachtete Curve, in welcher die Durchschnitte der Verticalen $C_1 P_1 \ldots$ mit den Fugenrichtungen $b_1 a_1 \ldots$ liegen, oder die Mittellinie des Drucks, für welche $Q=0$ sein würde, nirgends *oberhalb* der *äufsern* Wölbunglinie $bb_1 b_2 b_3$, wohl aber zum Theil oberhalb, zum Theil unterhalb der *innern* Wölbungslinie liegen könne, versteht sich zwar von selbst; es ist aber besonders darauf zu merken nöthig, weil die Thatsache bei der folgenden Untersuchung in Betracht kommt.

Die Aufgabe ist jetzt folgende: Unter allen möglichen Mittellinien des Drucks, bei welchen das Gewölbe im Gleichgewicht zu bleiben vermag und welche also nirgends, in ihrer ganzen Erstreckung, von der Scheitelfuge bis zur festen Widerlagsfuge, aus der äufsern oder aus der innern Wölbungslinie heraustreten, diejenige zu suchen, für welche der horizontale Schub Q den *kleinsten* Werth hat, indem *diese* Mittellinie des Drucks, vermöge des Princips vom kleinsten Widerstande, die in der Wirklichkeit existirende ist.

Wenn der dieser Mittellinie des Drucks entsprechende Schub Q im Nachfolgenden das *Minimum* des horizontalen Schubes genannt wird, so ist dabei nicht an ein absolutes Minimum der Analysis zu denken, für welches der Differential-Coëfficient von Q in Beziehung zu irgend einer veränderlichen Gröfse gleich Null sein würde, sondern nur an den kleinsten Werth von Q, welcher unter den gegebenen Verhältnissen des Gewölbbogens möglich ist.

Neben der dem *Minimum* von Q angehörigen Mittellinie des Drucks zeichnet sich unter allen übrigen noch die dem *Maximum* von Q entsprechende

Linie aus, weil dieselbe den *gröfsten* horizontalen Schub ausdrückt, welchen das Gewölbe hervorzubringen im Stande sein könnte, wenn die Fortpflanzung des Drucks nicht dem Principe vom kleinsten Widerstande unterworfen wäre. Die gleichzeitige Betrachtung dieser beiden Mittellinien des Drucks, von welchen jedoch immer nur die erste als die in der Wirklichkeit existirende anzusehen ist, sobald die Wölbsteinmasse, wie vorausgesetzt, unprefsbar ist, gewährt eine besonders gute Einsicht in das auf einen Gewölbbogen wirkende System von Kräften. Es ist klar, dafs wenn die eine dieser beiden Linien existirt, auch nothwendig die andere existiren mufs; wobei es sich dann allerdings unter ganz besondern Umständen auch ereignen kann, dafs beide Linien in eine einzige zusammenfallen, indem alsdann das Minimum von Q gleich dem Maximum von Q ist und es dann aufser dieser einzigen gar keine andere Mittellinie des Drucks giebt. Hat man jedoch die allgemeinen Bedingungen ermittelt, welche die eine oder die andere der beiden Linien erfüllen mufs, und für ein besonderes Gewölbe gefunden, dafs diesen Bedingungen für die eine Linie nicht genügt werden kann: so ist es auch klar, dafs alsdann auch die andere Linie, und überhaupt gar keine Mittellinie des Drucks existiren kann, welche das Gewölbe im Gleichgewicht zu erhalten vermöchte, dafs also das Gewölbe dann jedenfalls zusammenbrechen mufs.

Bei den Bedingungen, unter welchen die Mittellinie des Drucks einem Minimum oder Maximum von Q entspricht, wird behauptet, dafs eine solche Linie, ohne irgendwo aus der Bogenmasse herauszutreten, *einen Punct mit der äufsern und einen Punct mit der innern Wölbungslinie gemein haben* müsse; und es ist leicht zu sehen, dafs ein solcher gemeinschaftlicher Punct, wenn er nicht zugleich der *Endpunct* der Wölbungslinie im Scheitel, oder in der Widerlagsfläche ist, nothwendig ein *Berührungspunct* der Mittellinie des Drucks mit der Wölbungslinie sein mufs.

Denn wäre eine ganz in der Gewölbdicke liegende Mittellinie des Drucks construirbar, welche weder mit der äufsern, noch mit der innern Wölbungslinie einen Punct gemein hätte: so könnte, mit Beibehaltung des *Angriffpuncts* der horizontalen Kraft Q im Scheitel, die Stärke dieser Kraft noch vermindert oder vermehrt werden; und zwar so weit, bis die daraus hervorgehende neue Mittellinie des Drucks, deren Gestalt von der frühern jedenfalls verschieden werden würde, auf der einen oder der andern Seite an eine Wölbungslinie stiefse, ohne aus derselben herauszutreten. Die zuerst

construirte Linie könnte also so wenig einem Minimum, wie einem Maximum von Q entsprechen.

Hätte ferner eine ganz in der Gewölbdicke liegende Mittellinie des Drucks nur mit einer der beiden Wölbungslinien, z. B. mit der äufsern, einen Punct gemein, nicht aber mit der andern, innern Wölbungslinie: so könnte man zuvörderst, unter Beibehaltung der *Stärke* der Kraft Q, den Angriffpunct derselben im Scheitel von derjenigen Wölbungslinie hinweg versetzen, in welcher der gemeinschaftliche Punct läge, hier also von der äufsern Wölbungslinie hinweg, d. h. von oben nach unten, so dafs die daraus entstehende neue Mittellinie des Drucks, welche wegen der oben erörterten Eigenschaften aller dieser Linien ganz unter die erstere fallen würde, sich auch von der äufsern Wölbungslinie lostrennte und mit keiner der beiden Wölbungslinien einen Punct gemein hätte. Da nun aber diese neue Mittellinie des Drucks, deren horizontaler Schub Q dem Schube der ersteren vollkommen gleich geblieben ist, nach dem vorhergehenden Argumente sowohl eine Verminderung, als eine Vermehrung der Kraft Q gestattet: so folgt, dafs dieselbe, und mithin auch nicht die zuerst construirte, einem Minimum oder Maximum von Q entsprechen können.

Es ist demnach erwiesen, dafs die einem Minimum oder Maximum von Q angehörige Mittellinie des Drucks in jeder der beiden Wölbungslinien einen Punct haben müsse, und es handelt sich nur noch um die Beziehung, in welcher die beiden Puncte zu einander stehen müssen, um der Mittellinie des Drucks den Charakter eines Minimums oder eines Maximums der Kraft Q zu geben.

Zu diesem Ende werde zuvörderst bemerkt, dafs wenn $CDBA$ (Fig. 18) der halbe Gewölbbogen, CD eine verticale Scheitelfuge, AB die feste Widerlagsfläche, K der Angriffpunct der Kraft Q und $KFEI$ irgend eine mögliche Mittellinie des Drucks ist, welche den Punct E mit der innern und den Pnnct F mit der äufsern Wölbungslinie gemein hat, beide Puncte E und F stets *unterhalb* der durch K gezogenen Horizontalen KL liegen müssen, wenn nicht gerade die drei Puncte K, F, D, oder die drei Puncte K, E, C resp. in D oder in C zusammenfallen, also die Mittellinie des Drucks resp. durch den höchsten, oder durch den tiefsten Punct der Scheitelfuge geht; in welchem Falle dann F und E zwar nicht *unter*, aber doch *in* die Horizontale KL fällt.

Für den Punct E braucht die vorstehende Behauptung nicht weiter nachgewiesen zu werden, indem angenommen wird, dafs kein Punct der innern Wölbungslinie höher liege, als der tiefste C der Scheitelfuge.

Für den Punct F leuchtet die Behauptung ein, wenn man erwägt, dafs, falls dieser Punct oberhalb KL läge, und man verminderte nun die Stärke der Kraft Q, ohne ihren Angriffpunct K zu ändern, die neue Mittellinie des Drucks, ähnlich der in der Figur punctirten Curve, zwischen K und G sich senken, zwischen G und H dagegen sich heben, also aus der äufsern Wölbungslinie DFB heraustreten würde; was nach den oben erläuterten Eigenschaften aller Mittellinien des Drucks klar ist. Demnach müfste aber auch die für $Q = 0$ entstehende Mittellinie des Drucks zum Theil aufserhalb der äufsern Wölbungslinie liegen; was nach einer frühern Bemerkung nicht möglich ist.

Wir haben es also nur mit solchen Mittellinien des Drucks zu thun, für welche die beiden bekannten Puncte E und F unterhalb der Horizontalen KL liegen, oder höchstens in diese Linie fallen können, wenn sie durch C oder durch D geht.

Wenn der Berührungspunct F mit der äufsern Wölbungslinie höher liegt, als der Berührungspunct E mit der innern Wölbungslinie: so entspricht die zugehörige Mittellinie des Drucks einem Minimum des horizontalen Schubes Q; gleichviel, ob der Punct E in der Richtung dieser Linie vom Scheitel gegen die Widerlagsfläche auf den Punct F *folgt*, oder diesem Puncte *vorangeht.*

Denn es sei für die erste Lage der beiden Puncte E und F, $KFEI$ (Fig. 19) die fragliche Mittellinie des Drucks. Stellt man sich, unter Beibehaltung des Angriffpuncts K, die Stärke der Kraft Q entweder *vermehrt* oder *vermindert* vor, so wird sich die neue Mittellinie des Drucks in allen unter der Horizontalen QK liegenden Puncten resp. *heben,* oder *senken*, mithin entweder bei F aus der äufsern, oder bei E aus der innern Wölbungslinie heraustreten, folglich unmöglich sein. Stellt man sich, unter Beibehaltung der Stärke der Kraft Q, deren Angriffpunct höher gegen D hinaufgerückt vor, so erhält man eine zweite Mittellinie des Drucks, welche ganz über der ersten liegt, also die äufsere Wölbungslinie in der Nähe von F durchschneidet, mithin unmöglich ist. Wollte man jetzt noch die Stärke der Kraft Q *vergröfsern,* so würde die neue Mittellinie des Drucks in der Nähe von F sich noch mehr heben, also noch weiter aus der Bogenlinie heraustreten, mithin noch weniger möglich sein. *Verkleinerte* man dagegen die Stärke der Kraft Q

in dem neuen Angriffpuncte, und zwar so weit, bis die sich hierdurch senkende Mittellinie des Drucks in der Gegend von *F* wieder mit der äufsern Wölbungslinie in Berührung käme: so müfste die ursprüngliche Curve *KFEI* jedenfalls irgendwo zwischen *K* und *F* von der neuen durchschnitten werden. Diese Durchschneidung kann nach den bekannten Eigenschaften der Mittellinien des Drucks hier, wo *F* tiefer liegt als *K*, entweder nur in *einem* Puncte, oder, je nach der eigenthümlichen Figur des Curvenstücks *KF*, in einer ungeraden Zahl von Puncten erfolgen, welche sämmtlich in derselben Horizontalen liegen, so dafs bei dem zunächst an *F* liegenden Durchschnittspuncte die neue Curve jedenfalls auf rechts der Curve *KFEI* träte. Da diese neue Curve unterhalb des letztern Durchschnittspuncts keinen Punct mit der *KFEI* gemein haben kann, also fortan stets rechts von der letztern bleiben wird, so folgt, dafs die neue Curve die innere Wölbungslinie in der Nähe von *E* durchschneiden, also ebenfalls nicht möglich sein wird; wie solches durch zwei punctirte Curven in der obigen Figur angedeutet ist. Hieraus zeigt sich, dafs durch einen oberhalb *K* in der Scheitelfuge liegenden Punct überall *keine* zulässige Mittellinie des Drucks unter den gegebenen Verhältnissen gehen kann.

Stellt man sich dagegen, unter Beibehaltung der Stärke der Kraft *Q*, ihren Angriffpunct von *K* gegen *D* tiefer herabgerückt vor, so wird die neue Mittellinie des Drucks ganz unter der *KFEI* liegen, also die innere Wölbungslinie oberhalb des Puncts *E* durchschneiden, mithin unstatthaft sein. Wollte man jetzt auch die Stärke von *Q* noch *vermindern*, so würde die neue Mittellinie in der Nachbarschaft des Puncts *E* noch weiter aus der innern Wölbungslinie heraustreten, mithin eben so wenig zuläfslich sein. *Vergröfserte* man jedoch die Stärke der Kraft *Q* in dem neuen, unterhalb *K* liegenden Angriffpuncte, so liefse sich dadurch die Mittellinie des Drucks wieder so weit heben, dafs sie bei *E*, und überhaupt ganz und gar wieder in die Gewölbdicke hineinfiele, also zuläfslich wäre. Es versteht sich von selbst, dafs unter gewissen Umständen der Punct *K* so weit in der Scheitelfuge herabgerückt werden kann, dafs der verstärkte Werth von *Q*, welcher wenigstens erforderlich wäre, um die neue Mittellinie des Drucks bei *E* wieder in die Gewölbdicke hineinzuführen, gröfser ausfiele, als das Maximum von *Q*, und dafs für solche Anfangspuncte die betreffenden Mittellinien des Drucks irgendwo aus der äufsern Wölbungslinie herausträten und dadurch unmöglich würden.

Aus diesem Allen ergiebt sich, dafs die Curve *KFEI* nur einem *Minimum* des Schubes *Q* entspricht, indem durch den Anfangspunct *K* im

Scheitel nur diese einzige Mittellinie des Drucks, mit der bestimmten Kraft Q, durch einen oberhalb K liegenden Punct in der Scheitelfuge gar keine, und durch einen unterhalb K liegenden Punct nur eine, einem gröfseren Werth von Q entsprechende Mittellinie des Drucks gehen kann.

Häufig kann und wird der Punct F zugleich der Anfangspunct der in Rede stehenden Curve sein, also mit dem höchsten Puncte D der Scheitelfuge zusammenfallen; oder der Punct E wird zugleich der Endpunct dieser Curve sein, also mit dem tiefsten Puncte A der Widerlagsfuge zusammenfallen. Unter diesen Umständen ist es durchaus keine Bedingung für die fragliche Curve, dafs sie bei F die äufsere, oder bei E die innere Wölbungslinie *tangire*. Die vorstehenden Beweise bleiben ganz dieselben.

Es sei jetzt für die zweite, vorhin erwähnte Lage der beiden Puncte E und F, wo immer F höher als E läge, aber E in der Richtung vom Scheitel nach der Widerlage dem Puncte F voranginge, $KEFI$ (Fig. 20) die Mittellinie des Drucks. Eben wie vorhin ist zu zeigen, dafs durch den Punct K nur diese einzige Mittellinie des Drucks möglich ist.

Stellt man sich eine durch einen höhern Angriffpunct gehende Mittellinie vor, so mufs sie, wenn die zugehörige Kraft Q gleich, oder gröfser ist, als vorhin, durchaus die äufsere Wölbungslinie oberhalb des Puncts F durchschneiden. Sie ist also unmöglich und mufs, wenn die zugehörige Kraft Q kleiner ist, als vorhin, damit sie bei F wieder in die Gewölbdicke hinabsinke, nothwendig die ursprüngliche Mittellinie des Drucks zwischen E und F irgendwo durchschneiden; was zur Folge hat, dafs sie entweder bei E die innere, oder bei F die äufsere Wölbungslinie durchschneidet; wie es aus den allgemeinen Eigenschaften der Mittellinien des Drucks leicht erhellet, je nachdem man dem letzteren Durchschnittspuncte diese oder jene zwischen E und F liegende Stelle anweiset und dabei berücksichtigt, dafs der Punct F höher liegen soll, als der Punct E, dafs also zwischen E und F jedenfalls eine gerade Zahl von Puncten liegen mufs, in welchen die Tangenten an die Curve EF horizontal sind.

Stellt man sich eine, durch einen tiefern Anfangspunct als K gehende Mittellinie des Drucks vor, so wird dieselbe, wenn Q dergleichen, oder einen kleineren Werth hat, als vorhin, die innere Wölbungslinie bei E durchschneiden, also unmöglich sein. Hat jedoch Q einen gröfseren Werth als vorhin, so wird es, wenn der neue Angriffpunct in der Scheitelfuge nicht *zu* tief an-

genommen ist, möglich sein, die neue Mittellinie des Drucks ganz in die Gewölbdicke hineinzutreiben.

Hieraus ergiebt sich, dafs eine Mittellinie des Drucks, wie ***KEFI***, nur einem ***Minimum*** des Schubes ***Q*** angehören kann, indem durch den Anfangspunct ***K*** im Scheitel nur diese einzige Mittellinie des Drucks, mit der bestimmten Kraft ***Q***, durch einen oberhalb ***K*** in der Scheitelfuge liegenden Punct gar keine, und durch einen unterhalb ***K*** liegenden Punct nur eine einem gröfseren Werthe von ***Q*** entsprechende Mittellinie des Drucks gehen kann.

Wenn der Punct ***E*** zugleich Anfangspunct dieser Curve sein, also mit ***C*** zusammenfallen, oder wenn der Punct ***F*** zugleich Endpunct derselben sein, also mit ***B*** zusammenfallen kann, so wird die Bedingung, dafs bei ***E*** oder ***F*** eine ***Berührung*** mit der innern, resp. äufsern Wölbungslinie Statt finde, ganz wegfallen, ohne die Natur dieser Linie und die vorstehenden Beweise zu ändern.

Es ist zu bemerken, dafs in irgend einem gegebenen Gewölbe von den eben betrachteten beiden Arten der dem Minimum des Schubes ***Q*** angehörigen Mittellinien des Drucks entweder nur die eine, oder nur die andere, und überhaupt nur eine einzige derartige Linie möglich ist. Denn nähme man die Existenz von zweien an, so könnten deren Anfangspuncte im Scheitel, der vorstehenden Untersuchung zufolge, weder in einen und denselben Punct ***K*** zusammenfallen, weil durch einen solchen Punct nur eine einzige Mittellinie des Drucks, die einem Minimum von ***Q*** entspricht, gehen kann; noch könnten sie verschiedene Lagen in der Scheitelfuge haben, weil, wie sich zeigte, sobald die Curve mit dem tiefer liegenden Anfangspuncte existirt, durch einen höher liegenden Punct im Scheitel überhaupt keine Mittellinie des Drucks möglich ist.

Fand sich also, dafs die eine der vorliegenden Mittellinien des Drucks möglich ist, so kann von der andern keine Rede mehr sein; und nur in dem Falle, wo sich die Unmöglichkeit der ersten erweisen sollte, kann nach der Zuläfslichkeit der zweiten gefragt werden.

Die zuletzt betrachtete, einem Minimum des Schubes ***Q*** angehörige Mittellinie des Drucks, bei welcher der Berührungspunct ***E*** mit der innern Wölbungslinie dem Berührungspuncte ***F*** mit der äufsern Wölbungslinie in der Richtung vom Scheitel her voranschreitet, ist in der That nur in den seltensten Fällen möglich; es soll jedoch weiter unten darauf aufmerksam gemacht werden, wo für die Ausübung die Berücksichtigung einer solchen Linie nöthig sein kann.

Aus dem Vorhergehenden ergab sich zwar, dafs, wenn eine dem Minimum von Q entsprechende Mittellinie des Drucks gegeben ist, die Anfangspuncte aller übrigen etwa noch möglichen Mittellinien des Drucks im Scheitel tiefer als der Anfangspunct K jener Curve liegen müssen: ob indessen der Endpunct irgend einer noch möglichen Mittellinie des Drucks in der Widerlagsfläche AB jenseit oder diesseit des Endpuncts I der ersten Curve falle, hangt von der Figur der Linie $KEFI$ zwischen den Puncten E und I und von der Tiefe des neuen Angriffpuncts im Scheitel, so wie von der Stärke der der neuen Mittellinie des Drucks zugehörigen Kraft Q ab.

Soviel aber läfst sich mit Leichtigkeit aus den allgemeinen Eigenschaften der Mittellinien des Drucks entnehmen, dafs wenn der Endpunct I *tiefer* liegt als der Berührungspunct E, wie es gewöhnlich der Fall ist, der Endpunct der neuen Mittellinie des Drucks stets über I hinaus fallen werde, und dafs, wenn der Endpunct I *höher* liegt als der Berührungspunct E, bei einer sehr geringen Senkung des neuen Anfangspuncts im Scheitel und bei der geringsten nothwendigen Verstärkung der Kraft Q, der Endpunct der neuen Mittellinie des Drucks stets diesseit I fallen werde, dafs man es jedoch im letzteren Falle in der Gewalt habe, durch möglichste Herabsenkung des Anfangspuncts im Scheitel, oder durch möglichste Verstärkung der Kraft Q, den Endpunct der neuen Mittellinie des Drucks ebenfalls über I hinauszutreiben.

Wenn der Berührungspunct F mit der äufsern Wölbungslinie tiefer liegt, als der Berührungspunct E mit der innern Wölbungslinie: so entspricht die zugehörige Mittellinie des Drucks einem Maximum des horizontalen Schubes Q.

Dieses Verhalten ist nur denkbar, wenn der Punct E dem Puncte F in der Richtung vom Scheitel gegen die Widerlage vorangeht, weil im andern Falle die in Rede stehende Mittellinie des Drucks gewisse Fugen des Gewölbes in drei Puncten durchschneiden müfste; was nicht möglich ist. Demnach kann es sich niemals um die Betrachtung zweier Arten solcher Mittellinien des Drucks für ein Maximum von Q handeln; wie solches bei den Linien für ein Minimum von Q nothwendig war.

Es sei $KEFI$ (Fig. 21) eine Mittellinie des Drucks von der angegebenen Beschaffenheit.

Durch den Punct K ist keine andere Mittellinie des Drucks möglich, weil eine solche für ein *gröfseres* Q einen Schnitt mit der äufsern Wölbungs-

linie oberhalb *F*, und eine für ein *kleineres Q* einen Schnitt mit der inneren Wölbungslinie oberhalb *E* herbeiführen würde.

Stellt man sich den Angriffpunct einer neuen Mittellinie des Drucks von *K* gegen *C* herabgerückt vor: so würde dieselbe, wenn *Q* eben so grofs, oder kleiner wäre, als vorhin, die innere Wölbungslinie bei *E* durchschneiden. Wäre dagegen *Q* gröfser als vorhin, und zwar wenigstens so grofs, dafs die neue Curve bei *E* in die Gewölbdicke gebracht würde, also die Linie *KEFI* zwischen *K* und *E* schnitte: so würde dieselbe nothwendig die äufsere Wölbungslinie oberhalb *F* durchschneiden. Es ist also überhaupt keine Mittellinie des Drucks möglich, deren Anfangspunct tiefer als *K* läge.

Stellt man sich den Angriffpunct *K* weiter gegen *D* hinaufgeschoben vor: so würde die daraus entstehende neue Mittellinie des Drucks, wenn die zugehörige Kraft *Q* eben so grofs, oder gröfser wäre, als vorhin, die äufsere Wölbungslinie oberhalb *F* durchschneiden; also unmöglich sein. Nähme man jedoch *Q* kleiner an, so könnte man, bei genugsamer Verkleinerung dieser Kraft, die neue Mittellinie des Drucks in der Nähe von *F* wieder so weit senken, dafs sie unterhalb der äufsern Wölbungslinie und ganz in der Gewölbdicke verbliebe, insofern man nicht den Punct *K* zu hoch hinaufgerückt hätte, so dafs die neue Mittellinie des Drucks an irgend einer andern Stelle die innere Wölbungslinie durchschnitte.

Hieraus folgt, dafs die in Rede stehende Mittellinie des Drucks *KEFI* einem *Maximum* des Schubes entspricht, indem durch den Punct *K* nur diese einzige, durch einen tiefer liegenden Punct im Scheitel gar keine, und durch einen höher liegenden Punct nur eine, zu einem kleineren Werthe von *Q* gehörige Mittellinie des Drucks möglich ist.

Da der Berührungspunct *F* stets höher liegen mufs, als der Endpunct *I* der eben betrachteten Curve in der Widerlagsfläche, so läfst sich leicht zeigen, dafs der Endpunct irgend einer andern zuläfslichen Mittellinie des Drucks stets diesseit des Puncts *I* liegen mufs.

Könnte der Punct *E* zugleich Anfangspunct der so eben betrachteten Curve sein, also mit *C* zusammenfallen, oder könnte *F* zugleich der Endpunct sein, also mit *B* zusammenfallen, so würde die Bedingung, dafs bei *E* und *F* eine *Berührung* mit der innern und resp. äufsern Wölbungslinie Statt finden müsse, durchaus unwesentlich sein und den Charakter dieser Curve und die desfallsigen Beweise nicht verändern.

Bei der Bestimmung der einem Maximum von Q angehörigen Mittellinie des Drucks ist übrigens noch des besondern Falles zu erwähnen, wo der tiefste Punct C der Scheitelfuge *tiefer* liegt, als der höchste Punct B der Widerlagsfuge (Fig. 22), und mithin alle Puncte der innern Wölbungslinie AC tiefer liegen, als alle Puncte der äufsern Wölbungslinie BD, so dafs sich zwischen den Horizontalen BL und MC eine unendliche Menge anderer Horizontalen ziehen lassen, welche sämmtlich in der vollen Gewölbdicke liegen. Auf das *Minimum* von Q hat diese Bogenform keinen wesentlichen Einflufs. Von einem *Maximum* kann jedoch keine Rede sein, da kein Punct F der äufsern Wölbung tiefer liegt, als irgend ein Punct E der innern Wölbung. Allein man beachte, wenn man den Angriffpunct K der Kraft Q zwischen C und L annimmt, dafs diese Kraft immer grofs genug gesetzt werden kann, um eine Mittellinie des Drucks, wie KI, zu geben, welche ganz zwischen BL und MC, also in der vollen Bogendicke liegt, indem für $Q =$ unendlich, die Horizontale KN die Mittellinie des Drucks werden würde. Hieraus folgt, dafs das gesuchte *Maximum unendlich grofs* sein würde und die zugehörige Mittellinie des Drucks durch eine jede Horizontale zwischen LB und CM dargestellt werden könnte. Eine weitere Folge hieraus ist, dafs ein Bogen dieser Art jedenfalls eine zuläfsliche Mittellinie für ein Minimum von Q haben und durchaus *im Gleichgewicht* sein mufs, insoweit das Gleichgewicht von der *Drehung* und nicht etwa von dem *Gleiten* der Wölbsteine abhangt.

Hat man, dem Obigen zufolge, die dem Minimum und die dem Maximum von Q entsprechende Mittellinie des Drucks gezeichnet, so wird leicht zu sehen sein, dafs die Anfangspuncte dieser beiden Curven im Scheitel die Gränzen angeben, zwischen welchen irgend eine zuläfsliche Mittellinie des Drucks in der Scheitelfuge nur ihren Anfang nehmen kann, und dafs der Endpunct der Linie für das Maximum von Q in der Widerlagsfläche die äufserste Gränze bezeichnet, welche der Endpunct irgend einer andern zuläfslichen Mittellinie des Drucks in dieser Fuge nach aufsen nicht überschreiten kann. Bei dieser allgemeinen Behauptung über die Lage des *Endpuncts* der fraglichen Curven ist jedoch der eben erwähnte besondere Fall der Bogenform ausgeschlossen, wo der Punct C der Scheitelfuge tiefer liegt, als der Punct B der Widerlagsfuge, und demnach das Maximum von Q unendlich grofs und seinem Angriffpuncte nach unbestimmt sein würde.

Wenn in einem Gewölbe eine Mittellinie des Drucks construirbar wäre, welche gleichzeitig die Eigenschaft eines Minimums und eines Maximums von Q

hätte, so würde Dies die einzige mögliche Mittellinie des Drucks sein und das Gewölbe würde sich auf dem Gränzpuncte der Stabilität befinden.

Eine solche Mittellinie des Drucks ist z. B. die *KFEE'I* (Fig. 23), welche die äufsere Wölbungslinie bei *F* und *F'* und die innere Wölbungslinie bei *E* berührt, indem *E* tiefer als *F*, aber höher als *F'* liegt. Der Punct *F* kann mit *D*, und der Punct *F'* mit *B* zusammentreffen, in welchen Fällen dann in diesen Puncten keine Berührung mit der äufsern Wölbungslinie Statt zu finden braucht. Der Punct *E* könnte auch, in der Richtung von *K* gegen *I*, dem Berührungspuncte *F* vorangehen und alsdann sogar mit *C* zusammentreffen, wofern er nur tiefer als *F* und höher als *F'* läge.

Eine Mittellinie dieser Art kann übrigens auch die Form der *KE'FEI* (Fig. 24) haben, nemlich bei *E'* und *E* die innere und bei *F* die äufsere Wölbungslinie berühren, wobei *F* tiefer als *E'*, aber höher als *E* liegt. Der Punct *E'* kann mit *C* und der Punct *E* mit *A* zusammentreffen; in welchen Fällen in diesen Puncten keine Berührung mit der innern Wölbungslinie nöthig ist. Der Punct *F* könnte auch in der Richtung von *K* gegen *I* auf den Berührungspunct *E* folgen und alsdann sogar mit *B* zusammentreffen, wofern er nur höher als *E* und tiefer als *E'* läge.

Endlich läfst sich aus dem Vorhergehenden leicht der Satz entnehmen, dafs: wenn eine Mittellinie des Drucks, etwa wie die *KEFGHI* (Fig. 25), gezeichnet werden kann, welche in irgend einer Weise *zweimal* die ganze Gewölbdicke durchkreuzt und daneben an irgend einer andern Stelle aus ihr heraustritt, das Gleichgewicht dieses Bogens jedenfalls *unmöglich* ist, sobald nur alle Puncte des einen Durchkreuzungsstücks *EF* der Curve höher liegen, als alle Puncte des andern Durchkreuzungsstücks *GH*. Denn irgend eine das Gleichgewicht sichernde Mittellinie des Drucks, welche nirgends aus der Gewölbdicke heraustreten dürfte, müfste sonst nothwendig einen Punct mit dem Stücke *EF* und einen andern mit dem Stücke *GH* gemein haben; was nicht möglich ist. Mithin kann es keine, ganz zwischen den beiden Wölbungslinien liegende Mittellinie des Drucks geben; eine jede construirbare derartige Curve wird irgendwo aus der Gewölbdicke heraustreten und demnach das Gewölbe nicht im Gleichgewichte bleiben.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen über die Mittellinien des Drucks wollen wir nun versuchen, den Zustand der Stabilität gewölbter Bogen, wie sie gewöhnlich vorkommen, einzeln zu erläutern und dabei vorzugsweise die

Lage der Mittellinie des Drucks zu finden, welche einem Minimum des horizontalen Schubes Q entspricht und also in der Wirklichkeit existirt.

Für die Bogenhälfte $ABDC$ (Fig. 26) sei P das Gewicht der Bogenmasse, nebst deren Belastung; GP die durch den Schwerpunct des Gewichts P gehende Verticale. Es wird vorausgesetzt, dafs diese Verticale *rechts* vom tiefsten Puncte A der Widerlagsfuge BA oder der innern Wölbungslinie liege. KI sei irgend eine Mittellinie des Drucks, in deren Anfangpuncte K der horizontale Druck Q gegen die Scheitelfuge wirkt; p bezeichne den horizontalen Abstand der Verticalen GP von dem Puncte I, und h die verticale Höhe des Puncts K über dem Puncte I. Es findet alsdann die Gleichung

$$hQ = pP$$

Statt, und wenn die Lage der beiden Puncte K und I, mithin der Werth der Gröfsen h und p als bekannt angesehen wird, so ist

$$Q = \frac{pP}{h}.$$

Da hiernach Q um so kleiner wird, je gröfser h und je kleiner p ist, so folgt, dafs der möglich-kleinste Betrag des horizontalen Schubes Q dann erreicht werden würde, wenn die Mittellinie des Drucks durch die beiden Puncte D und A ginge.

Hieraus ergiebt sich für die Prüfung der Stabilität eines gewölbten Bogens ohne Schwierigkeit folgender Gang der Untersuchung.

Man construire zuvörderst eine Mittellinie des Drucks DA, welche durch den äufsersten Punct D der Scheitelfuge und durch den innersten Punct A der Widerlagsfuge geht. Hierbei können folgende fünf Fälle vorkommen.

Erster Fall. Die Curve DA liegt in ihrer ganzen Erstreckung von D bis A zwischen den beiden Wölbungslinien DB und CA.

In diesem Fall ist die fragliche Mittellinie des Drucks DA die wahre. Das Gleichgewicht des Bogens ist gesichert; die Wölbesteine pressen sich in den Puncten D und A fest aneinander und es äufsert sich im Scheitel des Gewölbes der horizontale Schub Q, welcher schon bei der Construction der Curve DA ermittelt wurde und welcher zugleich die horizontale Componente des bei A wirksamen Widerstandes der Widerlagsfläche ist. Dieser Fall findet besonders bei Gewölben nach einem flachen Curvensegmente und mit horizontalem Scheitel Statt. Wäre die äufsere Wölbungslinie DB im Scheitel D nicht horizontal, sondern nach unten geneigt, so würde zwar, selbst bei dem flachsten Gewölbe, die Mittellinie des Drucks in der Nähe des Scheitels aus der äufsern

Wölbungslinie heraustreten, weil jene Linie im Anfangspuncte immer horizontal liegt (insofern nicht gerade im Scheitelpuncte des Gewölbes ein isolirtes endliches Gewicht aufgelegt sein sollte, in welchem Falle die Mittellinie des Drucks schon im Scheitel eine geneigte Richtung hat). Es ist hierbei jedoch zu bedenken, dafs man den Gewölbbogen als aus unendlich dünnen Wölbsteinen zusammengesetzt annimmt. In der Wirklichkeit ist dies nur näherungsweise der Fall; und da hier die Mittellinie des Drucks eine gebrochene Linie ist, welche sich vom Puncte D aus gegen den Durchschnittspunct mit der nächsten Fuge neigt, so würde bei einem sehr flachen Bogen die Mittellinie des Drucks selbst dann noch zuweilen durch den höchsten Punct D gehen können, wenn auch die äufsere Wölbelinie im Scheitel nicht genau horizontal wäre. Auf die geringen Modificationen, welche durch die endliche Stärke der Wölbsteine bedingt sind, wird übrigens im Nachstehenden nicht weiter besonders aufmerksam gemacht werden, da solche mit Leichtigkeit zu übersehen sind.

Zweiter Fall. Die Mittellinie des Drucks DA (Fig. 27) schneidet die innere Wölbungslinie (entweder nur in einem Puncte, wie die DGA, oder in mehreren Puncten, wie die DHH_1A), nicht aber die äufsere Wölbungslinie.

Alsdann ist die wahre gesuchte Mittellinie des Drucks diejenige, welche durch den Scheitelpunct D der äufsern Wölbung geht und die innere Wölbungslinie CA berührt; insofern diese Curve sonst überall in der Gewölbdicke liegt.

Diese Linie, welche unter den vorstehenden Bedingungen analytisch, oder näherungsweise durch Zeichnung ermittelt werden kann, sei DEI, indem E der fragliche Berührungspunct mit der innern Wölbungslinie ist. Aus den früher angezeigten Eigenschaften der Mittellinie des Drucks erhellet ohne Weiteres, dafs es, wenn die eben bezeichnete Curve DEI möglich ist, d. h. wenn dieselbe nirgends aus der Gewölbdicke heraustritt, keine andere giebt, die einem kleineren Werthe des horizontalen Schubes Q entspräche. Bei dem solchergestalt bestehenden Gleichgewicht schliefsen sich die Wölbsteine in der äufsern Wölbung bei D und in der innern Wölbung bei E mit ihren Kanten aneinander; weshalb man auch in der Wirklichkeit vorzugsweise an diesen Stellen Sprünge in den Wölbsteinen bemerkt. Dieser Gleichgewichtszustand findet besonders bei Bogen Statt, deren innere Wölbungslinie bei A beinahe vertical und deren äufsere Wölbungslinie bei D horizontal ist.

Ereignete es sich, dafs die durch den Punct D gelegte, die innere Wölbungslinie bei E berührende Mittellinie des Drucks DEI die äufsere Wölbungslinie *oberhalb* des Punctes E, also zwischen D und E schnitte: so würde der Gleichgewichtszustand des Gewölbes nach dem weiter unten behandelten Falle Nro. 4 zu beurtheilen und so die wahre Mittellinie des Drucks zu suchen sein.

Wenn jedoch die in Rede stehende Mittellinie des Drucks DEI die äufsere Wölbungslinie *unterhalb* des Puncts E, also zwischen E und I durchschneidet, etwa wie wenn sich das Gewölbe bis $A'B'$ erstreckte und DEI' die fragliche Curve wäre: so ist das Gleichgewicht des Bogens, wie aus dem Obigen hervorgeht, *unmöglich*. Hierbei ist allerdings vorausgesetzt, dafs nicht etwa noch die aus früheren Betrachtungen bekannte zweite Mittellinie des Drucks, welche gleichfalls einem Minimum von Q entsprechen kann, möglich sei. Sobald jedoch die vorliegende Curve DEI' von solcher Form ist, dafs jeder in der Richtung von D nach I' folgende Punct tiefer liegt, als der vorhergehende, ist hieran nicht zu denken, weil die etwa noch mögliche Mittellinie des Drucks zwei in ungleicher Höhe liegende Puncte der Curve DEI' mit dieser gemein haben müfste. Von der eben bezeichneten allgemeinen Form, welche in der Ausübung die gewöhnliche ist, soll nun im Nachstehenden der Mittellinien des Drucks gedacht werden; sofern nicht ein Anderes ausdrücklich bemerkt ist.

Das Gewölbe bricht unter den letzteren Umständen zusammen, *indem sein Scheitel heruntersinkt und die Bogen-Anfänge oder Schenkel nach aufsen gedrängt werden*. Es findet alsdann eine Drehung um die Kanten bei D, E und um alle diejenigen in der Nähe von B' liegenden Kanten Statt, für welche die Mittellinie des Drucks DEI' aufserhalb der äufsern Wölbungslinie liegt (Fig. 28). Wenn die oberhalb B' die äufsere Wölbungslinie durchschneidende Curve DEI' sich gegen die Widerlagsfläche $A'B'$ hin wieder in die Gewölbdicke hineinzöge, so würde beim Umsturze des Gewölbes der tiefste Theil der Gewölbschenkel unverrückt stehen bleiben (Fig. 29).

Die durch den Punct E des einstürzenden Gewölbes gehende Fuge heifst *Brechungsfuge*. Die Lage dieser Fuge ist offenbar bis auf gewisse Gränzen unabhängig von der Form und Belastung des unterhalb E liegenden Theils $EA'B'$ des Gewölbbogens. Aus diesem Grunde läfst man dieser Fuge, in deren Puncte E die wirkliche Mittellinie des Drucks die innere Wölbung

berührt, auch dann noch den Namen *Brechungsfuge*, wenn auch das Gewölbe vollkommen im Gleichgewichte sich befindet.

Man sieht, dafs die Gränze der Stabilität erreicht wird, sobald die Mittellinie des Drucks *DEI* durch die äufserste Kante *B* der Widerlagsfuge geht, und dafs der Bogen um so stabiler sein wird, je näher der Durchschnittspunct *I* jener Mittellinie mit der Fuge *AB* an dem Puncte *A* liegt.

Dritter Fall. Die Mittellinie des Drucks DA schneidet die äufsere Wölbungslinie (entweder nur in einem Puncte, wie die *DGA*, oder in mehreren Puncten), *nicht aber die innere Wölbungslinie* (Fig. 30).

Alsdann ist die wahre gesuchte Mittellinie des Drucks diejenige, welche durch den tiefsten Punct A der innern Wölbung an der Widerlagsfläche geht und die äufsere Wölbungslinie BD unterhalb des Puncts D berührt, insofern diese Curve sonst überall in der Gewölbdicke liegt.

Diese irgendwie analytisch, oder näherungsweise durch Zeichnung zu ermittelnde Linie sei *AFK*, indem *F* der fragliche Berührungspunct mit der äufsern Wölbung ist. Sobald die genannte Curve möglich ist, ohne irgendwo aus der Gewölbdicke herauszutreten, kann, den obigen allgemeinen Eigenschaften der Mittellinie des Drucks zufolge, keine andere existiren, welche einem schwächeren horizontalen Schube *Q* entspräche, als die *AFK*. Dieser Gleichgewichtszustand, bei welchem eine Anschliefsung der Wölbsteine bei *F* in der äufsern und bei *A* in der innern Wölbungslinie Statt findet, kommt vorzugsweise bei Bogen vor, deren innere Wölbungslinie im tiefsten Puncte *A* gegen die Verticale und deren äufsere Wölbungslinie im Scheitel *D* gegen die Horizontale geneigt ist.

Wenn die durch den Punct *A* gehende und die äufsere Wölbungslinie bei *F* berührende Mittellinie des Drucks *AFK* die innere Wölbungslinie *unterhalb* des Puncts *F* durchschnitte, so würde man das Gleichgewicht nach dem hiernächst betrachteten Falle Nr. 4 zu beurtheilen und die wahre Mittellinie des Drucks zu suchen haben. Wenn jedoch jene Curve die innere Wölbungslinie *oberhalb* des Puncts *F* durchschneidet; so ist das Gleichgewicht des Bogens *unmöglich*. Unter solchen Umständen stürzt das Gewölbe ein, *indem die Bogen-Anfänge AF nach innen fallen und die Scheitelstucke FK emporgehoben werden*. Die Drehungen finden nach (Fig. 31) um die Kanten bei *A* und *F* und um alle diejenigen in der Nähe von *C* liegenden Kanten Statt, für welche die Mittellinie des Drucks *AFK* aufserhalb der innern Wölbungslinie liegt. Die durch den Punct *F* gehende Fuge nennt man, sowohl

bei dem instabilen, als bei dem stabilen Bogen der vorstehenden Art, *Brechungsfuge.*

Die Stabilität des Bogens erreicht offenbar ihre Gränze, wenn die Mittellinie des Drucks *AFK* durch den tiefsten Punct *C* der Scheitelfuge geht, und ist um so gröfser, je näher der Durchschnittspunct *K* der fraglichen Linie und der Scheitelfuge dem Puncte *D* liegt.

Vierter Fall. Die Mittellinie des Drucks DA schneidet sowohl die innere, als die äufsere Wölbungslinie (in einem oder in mehreren Puncten), *ohne jedoch mehr als einmal von der einen Wölbungslinie zur andern überzugehen, oder die ganze Gewölbdicke mehr als einmal zu durchkreuzen* (Fig. 32).

Alsdann ist die wahre und gesuchte Mittellinie des Drucks diejenige, welche sowohl die innere als die äufsere Wölbungslinie berührt, und zwar die innere Wölbungslinie in der Tiefe, die äufsere in der Höhe.

KFEI sei die unter den vorstehenden Bedingungen entworfene Curve, indem *E* und *F* die fraglichen Berührungspuncte mit der innern und äufsern Wölbungslinie sind. Dieses Gleichgewicht, bei welchem die Wölbsteine in der innern Wölbung bei *E* und in der äufsern Wölbung bei *F* mit ihren Kanten fest aneinander gepreſst werden, kommt meistens bei Bogen vor, deren innere Wölbung bei *A* vertical und deren äufsere Wölbung im Scheitel *D* geneigt ist. Ferner tritt dasselbe unter den bei den früher betrachteten Fällen Nr. 2 und 3 näher bezeichneten Umständen ein, und stellt überhaupt den allgemeinen Fall des Gleichgewichts einer Gewölbbogenhälfte dar, von welcher Nr. 1, 2 und 3 nur besondere Fälle sind.

Schneidet die Mittellinie des Drucks *KFEI* zwischen *K* und *F* die innere, oder zwischen *E* und *I* die äufsere Wölbungslinie, oder beide zugleich, so ist das Gleichgewicht des Bogens *unmöglich.* Das Gewölbe bricht alsdann auf eine Weise zusammen, welche leicht zu erkennen ist, je nachdem die Curve entweder blofs die äufsere, oder blofs die innere, oder beide Wölbungslinien zugleich durchschneidet. Diese drei Fälle sind in (Fig. 33, 34 und 35) dargestellt.

Beim Einsturze des Gewölbes findet eine Drehung um die Kanten bei *F* und *E* Statt, so wie um alle in der Nähe von *B* oder *C* liegenden Kanten, für welche die fragliche Curve aufserhalb des Gewölbbogens fällt. Der halbe Bogen sondert sich dabei vornehmlich in drei Stücke, von welchen das dem Anfange zunächst liegende Stück *BE* nach aufsen gedrängt wird, oder auch unver-

rückt stehen bleibt, das mittlere EF nach innen fällt, und das Scheitelstück FC, den beiden eben erwähnten Bewegungen folgend, entweder herabsinkt, oder emporgedrängt wird. Es giebt für diesen Fall *zwei* sogenannte ***Brechungsfugen;*** nämlich eine bei E und eine bei F: ein Fall, auf welchen bei den bisherigen Gewölbtheorien nicht geachtet wurde.

Die Stabilität dieses Gewölbbogens erreicht ihre Gränze, wenn die Mittellinie des Drucks $KFEI$ entweder durch die äufserste Kante B der Widerlagsfuge, oder durch die innere Kante C der Scheitelfuge, oder durch die beiden Kanten zugleich geht. Demnach ist der Bogen um so stabiler, je näher gleichzeitig die Durchschnittspuncte I und K der Mittellinie des Drucks mit der Widerlagsfuge und der Scheitelfuge an den Puncten A und D liegen.

Fünfter Fall. Die Mittellinie des Drucks DA schneidet die innere und die äufsere Wölbungslinie, in beliebig vielen Puncten, dergestalt, dafs sie die ganze Gewölbdicke mehr als einmal (also wenigstens dreimal, da zweimal nicht möglich ist) ***durchkreuzt*** (Fig. 36).

In diesem Falle ist das Gleichgewicht des Bogens *unmöglich;* wie aus den Eigenschaften der Mittellinien des Drucks leicht zu sehen. Unter solchen Umständen bricht also das Gewölbe jedenfalls zusammen, indem es sich in mehrere Stücke sondert, deren Drehungspuncte für die angenommene Form der Curve DGG_1HH_1A in obiger Figur, in der Nähe von D, dann zwischen G und G_1, dann zwischen H und H_1, und in der Nähe von A liegen.

(Die Fortsetzung folgt.)

11.

Fragen über Fuhrwerkräder.

(Von Herrn *B.* auf der Insel Rügen.)

I. Wenn die Achse C (Taf. X.) eines Wagenrades PQ, welches sich um die Achse dreht, auf *geradliniger* Bahn PQ_6 mit *gleichförmiger* Geschwindigkeit fortgezogen, nach C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6 gelangt, so durchläuft der Punct P der Reihe nach die Cykloïdenbogen PP_1, PP_2, PP_3, PP_4, PP_5, PP_6: der dem Puncte P im Durchmesser gegenüberliegende Punct Q aber *gleichzeitig* die Cykloïdenbogen QQ_1, QQ_2, QQ_3, QQ_4, QQ_5 und QQ_6; denn es ist $Pp_1 = P_1p_1$, $Pp_2 = P_2p_2$, u. s. w. Die Bogen PP_1, PP_2, PP_3, PP_4 und PP_5 sind aber *kürzer,* als die Bogen QQ_1, QQ_2, QQ_3, QQ_4 und QQ_5; erst der Cykloïdenbogen PP_6 ist dem QQ_6 *gleich.* Wie erklärt es sich nun, dafs die beiden *fest mit einander verbundenen Puncte* P und Q sich mit *ungleichen* Geschwindigkeiten bewegen können? Und hat nicht etwa die *Ungleichförmigkeit* der Geschwindigkeit der Puncte P und Q (in der *Masse* des Rades) an sich eine *dynamische* Rückwirkung auf die *Zugkraft* an der mit *gleichförmiger* Geschwindigkeit geradlinig sich fortbewegenden Achse C; so wie auf die Festigkeit des Rades? Welches wäre der allgemeine Ausdruck der Geschwindigkeit v des Puncts P durch die gleichförmige Geschwindigkeit c der Achse und durch r, den Halbmesser des Rades?

II. Woher kommt es, dafs, *der Erfahrung nach,* die Achsen von Wagenrädern, welche um die Achsen sich drehen, nicht, wie es sein zu müssen *scheint, vorn* und *unten* eher abgenutzt werden, als *hinten* und *oben,* sondern umgekehrt, eher *hinten* und *oben,* als *vorn* und *unten?* Aufmerksame Fuhrleute schmieren, in Folge der bezeichneten *Erfahrung,* die Achsen mehr *hinten* und *oben,* als *vorn* und *unten.*

12.

Beschreibung der Bergung des Wracks vom Linienschiffe Christian VIII.

(Ausgeführt 1849 von Herrn *Gullann*, Wasserbau-Inspector zu Hamburg.)

Einleitung.

Am 5ten April 1849 flog bekanntlich bei *Eckernförde* das Linienschiff *Christian VIII*, nach einem Gefechte, welches mit kurzer Unterbrechung den ganzen Tag gewährt hatte, gegen Abend in die Luft. Der nahe liegende Strand der südlichen *Eckernförder* Bucht wurde mit einer unzähligen Menge von Trümmern bedeckt. Bei der Verwirrung, die nach einem solchen Ereignifs herrschte, war es nicht möglich, sogleich die nöthigen Sicherheitsmaafsregeln zur Bewachung des Strandes zu treffen, und so konnte es nicht ausbleiben, dafs in den ersten Tagen eine Menge werthvoller Gegenstände weggeschleppt und auf die Seite geschafft wurden. Erst nachdem eine Commission zur Bergung des Wracks ernannt und in Function getreten war, wurde das Wrack und der nahe liegende Strand mit Wachen umstellt und die Bergung der verschiedenen Gegenstände zuverlässigen Leuten anvertraut.

Der *Eckernförder* Hafen war damals fast ganz ohne Schiffe. Aufser einer Brigg, die wegen ihrer Gröfse zur Bergung nicht geeignet war, fanden sich nur einige kleine Ostsee-Jachten, von 12 bis 16 Lasten Tragfähigkeit, welche mit Nutzen zur Bergung der über dem Wasser befindlichen Theile des Wracks gebraucht werden konnten. Die beiden Eigner derselben, *Olden* und *Hinrichsen* waren gewandte und erfahrene Schiffer, welche keine Mühe scheuten und im Laufe des Aprils und Mais eine Menge der verschiedensten, theils über, theils unter dem Wasser befindlichen Dinge ans Land und in Sicherheit brachten.

Bei stillem, ruhigem Wetter war es möglich, selbst Gegenstände in grofser Tiefe unter dem Wasser deutlich zu erkennen, und so gelang es, nicht allein Anker, Ketten etc., sondern auch 26 Kanonen von verschiedenem Caliber, eiserne Wasserbehälter und Dergleichen mehr, aufzufischen und zu bergen. Gegen Ende des Mais waren diese Arbeiten so rasch vorgeschritten,

dafs alle hervorragenden Theile, als: Masten, Raaen, Spieren, lose Holztrümmer, Segel, Taue u. dgl. m. fortgeschafft und nur noch die festen, zusammenhangenden Theile des Wracks, mit den darin befindlichen Kanonen und sonstigen schweren Sachen übrig waren.

Die vorhandenen Mittel reichten indefs nicht hin, das eigentliche Wrack selbst herauszuschaffen. Taucher-Apparate, als das geeignetste Mittel dazu, waren nicht zur Stelle, und konnten nur entweder aus *England*, oder aus *Hamburg* herbeigeschafft werden. Es wurden zwar von verschiedenen Personen Anerbietungen gemacht, Apparate anzuschaffen und die Bergung des Wracks zu übernehmen. Eine Commission, bestehend aus dem Deich-Inspector *Christensen*, der die fortificatorischen Arbeiten leitete, und dem Senator *Lange* aus *Eckernförde*, hielt es indefs nicht für angemessen, auf Anerbietungen, welchen die Garantie des Gelingens fehlte, irgend einzugehen; sie wandte sich vielmehr nach *Hamburg* an die Schiffahrt- und Hafendeputation, mit der Bitte, den dort vorhandenen Taucher-Apparat, bestehend aus einem Fahrzeuge mit Glocke und der dazu gehörenden Mannschaft, zu ihrer Disposition zu stellen, um bei den Bergungs-Arbeiten zu *Eckernförde* benutzt zu werden.

Die Hamburger Behörde war hiezu bereit und es ward deren Wasserbau-Director *Hübbe* beauftragt, die vorbereitenden und einleitenden Schritte zu thun.

Vor Allem mufste untersucht werden, welches die Tiefe an der Stelle sei, wo das Wrack versunken war, indem die Hamburger Taucherglocke nur auf die Örtlichkeiten in der *Elbe* berechnet ist und nur höchstens 30 Fufs tief arbeiten kann. Eine zu dem Ende von dem Wasserbau-Director *Hübbe*, mit Zuziehung des Unterzeichneten und im Beisein des Senators *Lange* Ende Aprils angestellte Untersuchung ergab, dafs das Hauptwrack etwa 24 Fufs tief lag, dafs einzelne Gegenstände, weiter entfernt, in etwa 30 Fufs Tiefe sich befinden mochten und dafs mithin der Benutzung der Hamburger Taucherglocke nichts im Wege stand, sobald es nur gelang, selbige glücklich von *Hamburg* nach *Eckernförde* zu schaffen. Diesem stellten sich indefs, in Folge der damaligen Blocade der deutschen Häfen in der Nord- und Ostsee, erhebliche Schwierigkeiten entgegen, und es ward daher die Frage erwogen, ob es nicht am rathsamsten sei, den Taucherprahm durch ein anderes, in *Eckernförde* befindliches Fahrzeug zu ersetzen, die Glocke selbst aber ganz zu Lande auf der Chaussée per Achse dorthin zu transportiren.

Die in *Eckernförde* befindlichen Schiffe wurden zu dem Ende genau

untersucht. Die kleineren Fahrzeuge, als Jachten, Ever, waren zu klein. Die oben gedachte kleine Brigg hatte zwar eine mehr als hinreichende Tragfähigkeit für das Gewicht der Glocke, und Räumlichkeit genug für die Besatzung: sie war aber wieder zu grofs und zu schwer, um damit die Manoeuvres der Glocke rasch und sicher ausführen zu können. Zudem maskirte bei einem feindlichen Angriff ein so grofses Fahrzeug das Feuer der Südbatterieen, und es wäre sehr schwierig gewesen, die Brigg bei etwaiger Annährung feindlicher Schiffe schleunig vom Arbeitsplatze zu entfernen und in den Hafen zu bringen. Stets stellte sich die Benutzung des Taucherprahms als am meisten den Umständen entsprechend heraus.

Bei der Berathung über die Möglichkeit, den Prahm auf sichere Weise nach *Eckernförde* zu schaffen, war auch die Frage erwogen worden, ob es unter solchen Umständen nicht rathsam sei, sich einzelner Taucher mit Taucherhelmen zu bedienen, da die Herbeiziehung derselben aus *England*, abgesehen von den Kosten, keine Schwierigkeit gehabt haben würde. Bei der Untersuchung hatte sich indefs ergeben, dafs sämmtliche Verdecke des Linienschiffs bei der Explosion weggesprengt waren, dafs die untern Räume offen dalagen und dafs die Taucherglocke daher an keiner Stelle am Arbeiten gehindert sein würde. Unter solchen Umständen hat bekanntlich die Taucherglocke wesentliche Vortheile, indem die Arbeiter in derselben alle Verrichtungen eben so leicht als über dem Wasser ausführen können, ohne in ihren Bewegungen gehindert zu werden, wogegen die Taucher mit Helmen fortwährend den Widerstand des Wassers überwinden müssen. Ein weit wesentlicherer Vortheil bei der Taucherglocke aber ist noch der, dafs der Aufsichtführende sich stets durch eigne Anschauung von dem Zustande der Arbeiten unter Wasser überzeugen und dieselben controliren kann, während er im andern Fall auf die Aussagen der Taucher sich verlassen mufs.

Alle diese Umstände sprachen demnach entschieden für die Wahl der *Taucherglocke* und es wurde der Commission anheim gestellt, einen bestimmten Entschlufs darüber zu fassen, ob die Glocke allein, oder in Verbindung mit dem Fahrzeuge, nach *Eckernförde* zu schaffen sei. Bei dem Entwurf zur Überlassung der Taucherglocke nahm man auf beide Modalitäten Bezug und machte auf die Zweckmäfsigkeit aufmerksam, speciell die Leitung der Bergungs-Arbeiten einem Techniker zu übertragen. Der desfalsige Contract wurde, nachdem alle einzelnen Puncte besprochen und festgestellt waren, den betreffenden Regierungen zur Ratificirung eingesandt.

Ehe dieselbe erfolgte, hatte die bisher bestandene Bergungscommission in *Eckernförde* ihre Function als solche niedergelegt, da die Herausbringung des Wracks Christian VIII. vom Reichsministerium dem See-Capitain *Donner* übertragen worden war. Derselbe war bevollmächtigt, den mit der Eckernförder Commission wegen Überlassung der Taucherglocke abgeschlossenen Contract zu ratificiren und die Caution bei der Hamburgischen Kammer baar zu deponiren. Er stellte den Antrag, dem Unterzeichneten, welcher sich längst bereit dazu erklärt hatte, den nöthigen Urlaub zu ertheilen, um die Arbeiten der Taucherglocke bei *Eckernförde* zu leiten. Die Hamburger Behörde, die Schiffahrt- und Hafendeputation, genehmigte diesen Antrag am 7ten Mai und es wurden mit dem Capitain *Donner* die Stipulationen über die Deposition des Werths der Taucherglocke und was Dem anhängig, vollzogen.

Transport der Taucherglocke nach *Eckernförde.*

Während dieser Verhandlungen war die Frage über den Transport des Taucherprahms näher geprüft worden. Es war allein möglich, das Fahrzeug die *Elbe* hinunter bis *Neufeld,* dann über die Ditmarsischen Watten nach der *Eider* bis *Rendsburg,* und von da längs des Schleswig-Holsteinischen Canals bis *Levensaue* zu bugsiren. Von hier aber mufste der Landtransport bis *Eckernförde,* über drei Meilen weit, auf der Chaussée geschehen, weil bei der steten Anwesenheit Dänischer Kreuzer die Möglichkeit abgeschnitten war, das Fahrzeug zur See nach der *Eckernförder* Bucht zu bringen.

Es war vorauszusehen, dafs wegen der Gröfse des Fahrzeuges und des grofsen Gewichts desselben, der Landtransport mit grofsen Schwierigkeiten, Kosten und Zeitverlust verknüpft sein werde, und es war also nöthig, darüber sorgfältige Untersuchungen und Berechnungen anzustellen. Erfahrene Schiffbauer, die zu Rathe gezogen wurden, erklärten sich *gegen* das Unternehmen; dagegen bot einen annähernden Maafsstab für den Erfolg der im vorigen Jahre glücklich ausgeführte Transport eines nahe an 50 000 Pfund schweren *Dampfkessels* [1 Hamburger Pfund ist gleich 0,9128 Preufsischen Pfunden, D. H.] auf einem eigends dazu gebauten Wagen, zu Lande, von *Hamburg* nach *Wien,* theils auf Chausséen, theils auf dem mittelmäfsigen Strafsenpflaster in den kleinen Städten, die passirt werden mufsten.

Nach einer Berechnung wog das Fahrzeug, nach Abnahme der Glocke, nahe an 100 000 Pfd. und ohne das hohe Gerüst, welches zum Heben und Senken der Glocke dient (S. Taf. XIII. Fig. 10.), nebst der Luftpumpe und den sonstigen

Utensilien, noch immer über 70 000 Pfd. Dabei hatte es 45 F. Länge, 20 F. Breite und 6 F. Höhe. Bei näherer Untersuchung des vorhandenen Wagens schienen zwar die Räder und Achsen zum Tragen eines solchen Gewichts hinreichend stark zu sein, aber der Wagen war zu kurz, und kaum 4 F. *breit,* so dafs die Bedenklichkeit entstand, das breite Fahrzeug möchte bei der geringsten Schwankung aus dem Gleichgewicht kommen und umgeworfen werden. Es ward daher der Plan gemacht, zwei starke Walzen unter dem Fahrzeuge zu befestigen und es auf untergelegten Strecklagern nach seinem Bestimmungsorte zu rollen. Aber auch Dies hätte (zwar bei völliger Sicherheit gegen das Umwerfen) Schwierigkeiten gehabt; und besonders kam der Zeitverlust in Betracht, und der Umstand, dafs man es nicht wagen durfte, die so frequente Landstrafse zwischen *Kiel* und *Eckernförde* den damaligen vielen Militairtransporten auf längere Zeit zu versperren. Der Wagen wurde daher mehrmals untersucht und die Zeichnung zu einem starken Schwellenwerk gemacht, welche genau der Form des Bodens vom Prahm entsprach, und dem zugleich, mittels Verlängerung des Langbaums, eine Länge von 40 Fufs, so wie eine Breite von 6¼ Fufs gegeben werden konnte [1 Hamburger Fufs ist gleich 1,0362 Preufsischen Fufsen, D. H.]. Der Fuhrmann *Lockermann* aus *Hamburg,* welcher den Transport des obengedachten Dampfkessels geleitet hatte, besichtigte die Örtlichkeit zwischen *Kiel* und *Eckernförde* und war der Meinung, dafs nach seinen vielen Erfahrungen die erst vor wenigen Jahren gebaute neue Chaussée, mit Ausnahme kurzer Strecken, die nicht so haltbar seien, hinreichende Festigkeit zum Tragen einer so grofsen Last besitze: er halte daher, bei den geringen Steigungen der Chaussée und den nicht bedeutenden Krümmen derselben, das Unternehmen für möglich und sei bereit, die nöthigen Pferde zu stellen und die Leitung beim Fahren zu übernehmen. Hiemit wurden die Voruntersuchungen beendet und man schritt sofort zur Ausführung.

Transport des Taucherprahms und der Glocke von *Hamburg* nach *Eckernförde.*

Zuvörderst wurden die 13 000 Pfd. wiegende Taucherglocke, mit der dazu gehörigen Kette, die Luftpumpen, die grofse eiserne Winde und alle sonstigen zum Gebrauch gehörenden leichtern Gegenstände abgenommen und zu Wasser nach *Altona* transportirt, um hier mittels des grofsen neuen Krahns aufgewunden und auf zwei Frachtwagen geladen zu werden. Unter Aufsicht des ersten Tauchers wurden diese Gegenstände, welche mit den gleichfalls

aufgeladenen Requisiten zum Aufwinden und Heben des Prahms auf den Wagen zu *Levensaue,* den grofsen Steinzangen beim Gebrauch in *Eckernförde* u. s. w. ein Gewicht von 26 290 Pfd. hatten, auf der Chaussée nach *Eckernförde* befördert; woselbst die Glocke ohne Unfall am Hafen abgeladen wurde.

Für den Transport des Taucherprahms über See, nach der *Eider,* war zwar die Herabnahme des hohen schweren Gerüstes schon hier keinesweges nöthig, wohl aber bei der Ankunft zu *Levensaue,* um das Gewicht des Fahrzeuges um 22 000 Pfd. zu verringern und der Gefahr des Schwankens auf dem schmalen Wagen vorzubeugen. Hierbei war aber wieder zu berücksichtigen, dafs zu *Levensaue* weder grofse Hebewerkzeuge, noch Schiffe vorhanden waren, um die Gerüsthölzer ausheben zu können; es wurde daher vorgezogen, sie schon in *Hamburg* abzunehmen, wenn gleich die Kosten dadurch vermehrt wurden. Um die Holzverbindung möglichst zu schonen, wurden die Befestigungsbolzen durchsägt, die obern Längsbalken wurden abgenommen und darauf die drei galgenähnlichen Stellagen zusammenhangend herausgehoben. Alle diese Hölzer wurden auf einen schweren Blockwagen, mit 6 Zoll breiten Radfelgen, geladen und es passirte dieser Wagen glücklich die Zugbrücke bei *Levensaue,* so wie das Strafsenpflaster von *Eckernförde* bis zum Hafen; woselbst die Hölzer abgeladen wurden.

Dem Fahrzeuge selbst gab man Relingen und ein langes Steuer, und es wurde mit der Besatzung, bestehend aus dem Capitain, 2 Tauchern und 5 Matrosen, am 14ten Mai durch das Dampfboot *Harriet* bis *Neufeldt,* unterhalb *Brunsbüttel,* bugsirt, wo es um 1½ Uhr Nachmittags ankam.

Am 15ten, Morgens 3½ Uhr, wurde es durch einen Zollkreuzer über die Watten, möglichst nahe an dem Lande, nach *Büsum* gebracht, wo es am 17ten ankam. Wegen widrigen Windes blieb hier der Prahm bis zum 20ten Abends 8 Uhr liegen, erreichte die *Eider* am 22ten Morgens 8 Uhr und das entgegengesandte Eiderdampfboot wurde von *Vollerwieck* bis nach *Tönning* gebracht. Wegen anderweitiger Beschäftigung des Bugsirbootes konnte die weitere Fahrt erst am 24ten Morgens 10 Uhr angetreten werden. *Rendsburg* und der Canal wurden passirt und es befand sich der Prahm am 25ten Abends 9 Uhr an seinem vorläufigen Bestimmungsort zu *Levensaue,* nachdem er 12 Tage unterweges gewesen war.

Während dieser Zeit war zu *Hamburg* der Ausbau des grofsen Wagens und zu *Levensaue* die Anlage einer Schleppe am Canal geschehen.

Der Wagen (Taf. XI. Fig. 1, 2 und 3) war bis auf 40 Fufs verlängert

worden und hatte oben ein Schwellenwerk von 14 auf 15 Zoll starken pommerschen Balken bekommen, welches durch Querriegel und Bolzen hinreichende Befestigung erhielt und sich mittels eines Zapfens um die Vorder-Achse drehen konnte. In den Querriegeln waren Einschnitte für die drei Kiele gemacht, so dafs der Boden auf dem Längsbalken allenthalben fest aufliegen konnte. Die Felgen der Räder waren 11 Zoll breit und jedes einzelne Rad wog mit dem Beschlage 746 Pfd.; die eisernen geschmiedeten Achsen hatten 5 Zoll im Durchmesser und wogen gegen 1000 Pfd.; der ganze Wagen hatte nach Aufbringung des Schwellenwerks ein Gewicht von nahe an 10 000 Pfd. Bei seinem Abgange von *Hamburg* nahm er eine Anzahl grofser Pollblöcke von 22 Zoll im Quadrat stark mit, welche beim Heben des Prahms auf den Wagen gebraucht werden sollten.

Zu *Levensaue* war die Ausführung einer Schleppe an der Nordseite des Canals, östlich von der Brücke, so rasch betrieben worden, dafs bei der Ankunft des Prahms Alles zum Aufwinden in Bereitschaft war. Die Schleppe bestand aus einer geneigten Ebene, welche im Ufer des Canals ausgegraben war. Es waren 3 dicht neben einander liegende 5 Zoll starke Streckhölzer der Länge nach eingegraben worden, auf welche die beiden äufsern Kiele des Prahms auf Walzen sich bewegen sollten. Der Schiffbauer *Graack* aus *Eckernförde* hatte aus den föhrenen Stengen des Linienschiffs Christian VIII eine Anzahl Walzen anfertigen lassen, welche jedoch leider von verschiedener Dicke und so schwach waren, dafs sie das Gewicht nicht tragen konnten. Hiedurch, so wie durch die Schwäche der nur 5zölligen unregelmäfsigen Streckhölzer (und andere waren gerade an Ort und Stelle nicht vorhanden,) wurde die Arbeit sehr erschwert und in die Länge gezogen. Die aus *Hamburg* mitgebrachten doppelten englischen und zwei einfache Winden, wurden an den auf der (Taf. XI. Fig. 4) bezeichneten Plätzen aufgestellt und einige starke Pfähle eingerammt, um daran Scheibenblöcke zum Aufwinden befestigen zu können.

Beim Aufwinden und Heben wurden 8 Mann, von der Elb-Ramme aus *Hamburg,* 6 Schiffszimmerleute aus *Eckernförde,* 8 Tagelöhner aus *Levensaue* und die Mannschaft der Taucherglocke, zusammen 30 Mann, beschäftigt. Das Aufziehen vom Canale und das Fortschaffen des Prahms bis zur Chaussée, über den Hofplatz des Müller *Oden,* beaufsichtigte der Schiffbauer *Graack.*

Nachdem der Prahm von allen darin befindlichen losen Gegenständen geleert war, begann am 28ten Mai das Aufwinden an einem schweren Ankertaue, welches rund um den Prahm geschlungen war, um nicht die Verbindung

desselben durch eingeschlagene, sonst übliche Bolzen zu schwächen. Der Prahm befand sich erst am Abend mit zweidrittel seiner Länge auf der horizontalen Ebene vor der Scheune. Am folgenden Tage gelangte er bis vor das Wohnhaus, ward dann etwas gedreht und nahm am Abend die mit *B* bezeichnete Stellung ein. Am 30ten Mai wurden nach hinten ein Pollblock unter den Mittelkiel gelegt, nach vorne dicht neben einander, der Breite nach, 3 geschmierte Streckhölzer. Hierauf wurde der Prahm ganz umgedreht.

Um nun die Strecklager neu legen und die Walzen anbringen, so wie die überflüssigen alten Unterlaghölzer wegnehmen zu können, war es nöthig, den Prahm zu heben und abzupollen; worauf wieder vorwärts gewunden wurde. Heftige Regenschauer unterbrachen die Arbeit drei Stunden lang; es gelang jedoch, indem die Walzen stets während des Vorwärtsrollens schräg geschlagen wurden, den Prahm gegen Abend in der Richtung *C* bis dicht an die Chaussée zu bringen.

Am 31ten Mai wurde der Prahm quer auf der Chaussée herausgewunden und dann auf geschmierten Streckhölzern herumgestrichen, bis er gegen Mittag der Länge nach auf der Chaussée in der Lage *D* stand. Diese Arbeit ging sehr rasch von Statten und war nur dadurch erschwert worden, dafs die Passage keinen Augenblick gestört werden durfte. Der anwohnende Müller hatte indefs die Gefälligkeit, einstweilen das Fahren über seinen Hofraum zu gestatten. Es wurden zu dem Ende dort die weichen Stellen mit Busch belegt, und den schweren Frachtwagen wurde mit Vorspannpferden durchgeholfen. Der Prahm wurde nun etwas in die Höhe geschraubt, und dann wurden alle Strecklager, Walzen und sonstiges überflüssige Holzwerk weggenommen.

Nunmehr war es nöthig, den Prahm beinahe 6 Fufs senkrecht in die Höhe zu schrauben, um den Wagen unterschieben zu können. Diesen Theil der Arbeit beaufsichtigte der Hafenpolirer *Frech* aus *Hamburg*. Es wurden vorne und hinten, an beiden Seiten des Prahms, von den mitgenommenen grofsen Pollblöcken regelmäfsige Kreuzlager aufgerichtet und alsdann wurde abwechselnd der vordere und der hintere Theil des Prahms mit zwei Cylinderschrauben allmälig gehoben, während man auf den Kreuzlagern immer nachkeilte und diese gleichzeitig erhöhte. Dies mufste, je höher das Schiff kam, mit der gröfsten Vorsicht geschehen, da bei der geringsten Unsicherheit der Stellage das Schiff aus seiner Lage hätte kommen, abgleiten und bedeutende Beschädigungen erleiden können. Endlich, gegen 9 Uhr Abends, war das

Schiff hinreichend hoch gehoben, um den Wagen langsam und vorsichtig unterschieben zu können; und es war nun alles zur Abfahrt vorbereitet.

Am folgenden Tage, den 1ten Juni, wurde der Prahm mittels der Cylinderschrauben, während die Pollhölzer vorsichtig unten ausgezogen wurden, allmälig so weit herabgelassen, dafs er fest auf dem Wagen auflag. Um Seitenschwankungen zu verhindern, wurden zwischen den Kielen des Prahms und den Einschnitten des Wagengerüstes kleine Keile geschlagen; und zuletzt wurden noch auf den beiden hintern Achsen, zwischen diesen und den überstehenden äufsern Kielen des Prahms, Stützen angebracht. Sämmtliche Pollhölzer, Werkzeuge, Cylinderschrauben, Stroh und Faschinen, für den Nothfall, wenn die Chaussée an einzelnen Stellen nicht tragen sollte, wurden auf einen zweiten Blockwagen geladen. Um 9 Uhr Morgens war alles beendigt; 14 grofse Fuhrmannspferde waren von *Hamburg* mitgenommen worden, und 14 Vorspannpferde wurden aus der Umgegend geliefert. Die beiden besten und gröfsten Pferde wurden an den Deichsel gespannt; dann 20 Pferde, 4 bei 4, nach vorne (Taf. XI. Fig. 4); die übrigen 6 Pferde zogen den Geräthschaftswagen. Diese Vorbereitungen leitete der oben genannte Fuhrmann *Lockermann* aus *Hamburg* mit grofser Umsicht und Thätigkeit. Auf ein gegebenes Zeichen zogen um $9\frac{1}{2}$ Uhr alle Pferde gleichmäfsig an und die ganze Maschine bewegte sich auf der anfänglichen Steigung der Chaussée rasch und sicher vorwärts. Der Wagen trug das grofse, nur auf vier Rädern ruhende Gewicht leicht und sicher; nicht das geringste Nachgeben der einzelnen Theile wurde bemerkt. Der Prahm selbst gerieth zwar in eine zitternde Bewegung; doch ward das Schwanken nie so stark, um ernstlich besorgen zu müssen, er werde bei dem grofsen Übergewicht aus dem Gleichgewicht kommen. Die Chaussée hielt sich auf festem Boden vortrefflich; nur im *Wulfshagenmoor* und dem *Schnellmarkerholze*, wo der Untergrund theils moorig, theils mit Quellen durchschnitten ist, entstanden ernstliche Besorgnisse, indem sich die Chaussée unter dem Drucke der Räder wellenförmig bewegte. Dem Wagen liefs man indefs keine Zeit, einzusinken, da die Pferde stark angetrieben wurden. Diese gefährlichen Strecken wurden glücklich zurückgelegt und die Räder hinterliefsen fast nicht die geringste Spur eines Eindrucks. Es mag dazu der Umstand beigetragen haben, dafs es einige Tage vorher heftig geregnet hatte und darauf heifser Sonnenschein eingetreten war; was auf der Chaussée vielleicht eine feste Kruste gebildet hatte, die zugleich hinreichende Elasticität besafs, um eine solche Probe zu bestehen. Sämmtliche Schlagbäume unterweges mufsten,

weil sie nicht breit genug waren, ausgehoben werden. Um 12 Uhr war das Fuhrwerk in *Gottorf*, und es ward hier für eine kurze Zeit Rast gehalten. Da der Zug fast die ganze Breite der Chaussée einnahm, so wurden, um nicht durch entgegenkommende Frachtwagen gehemmt zu werden, stets Boten vorausgeschickt, welche die Wagen an den Ausweichestellen aufhielten, bis der Wagen mit dem Prahm passirt war. Beim *Sandkruge*, an der *Eckernförder* Bucht, etwa eine halbe Meile von dieser Stadt, wurde wieder angehalten und mit einigen hier eingetroffenen Mitgliedern der städtischen Behörde Rath gepflogen, ob der Prahm hier abgeladen und zu Wasser weiter geschafft, oder durch *Eckernförde* nach dem Hafen gebracht werden sollte.

Für die Stelle beim *Sandkruge* sprach der Umstand, dafs hier die einzige Ausweichestelle vorhanden war, welche es gestattete, den Prahm ungestört abladen und ins Wasser bringen zu können, ohne die Wagenpassage auf der Chaussée zu hemmen; dagegen zeigte schon eine oberflächliche Untersuchung des Strandes, dafs derselbe sehr flach sei und dafs Untiefen vorhanden waren, über welche den Prahm hinwegzubringen unsägliche Mühe und Arbeit würde nöthig gewesen sein. Der Hafen in *Eckernförde* dagegen hatte nicht allein hinreichend tiefes Wasser, sondern bot auch Schutz gegen die Brandung, welche beim Ostwinde stets an dem offenen Strande zu bemerken ist und dann alle Arbeiten in hohem Grade stört, wenn nicht gänzlich unterbricht. Um indefs nach dem Hafen zu kommen, mufste die Stadt selbst in ihrer ganzen Länge passirt werden, und hier stand das Bedenken entgegen, ob das Strafsenpflaster hinreichend fest sein werde. Dieses Bedenken schien indefs durch den Umstand gehoben, dafs früher der Blockwagen mit den Stellagehölzern, mit nur 6 Zoll breiten Radfelgen und einer Ladung von 22 000 Pfd., ohne Nachtheil hier durchgefahren war; so wie, dafs im vorigen Jahre der grofse Wagen, mit dem Dampfkessel von nahe an 50 000 Pfd. schwer, kleinere Städte in Deutschland passirt war, ohne das Strafsenpflaster, welches in solchen Städten keinesweges zu den besten zu gehören pflegt, wesentlich zu beschädigen.

Diefs entschied; und so ward die Fahrt nach der Stadt *Eckernförde* angetreten. Die mit Kopfsteinen längs dem Pflegehause gepflasterte Allée trug den Wagen überaus gut. Als derselbe jedoch auf das gewöhnliche, schlechtere Pflaster kam, sank er bald so tief ein, dafs er mit der vorhandenen Zugkraft nicht weiter bewegt werden konnte. Die Pferde wurden daher abgespannt und der Prahm wurde, um weitern Unfällen vorzubeugen, abgestützt.

Nun war die Frage, was weiter zu thun sei? Es war zwar möglich, den Wagen wieder in die Höhe zu heben und ihn auf einer Unterlage von Faschinen und Stroh längs der Strafse weiter zu bewegen; doch war dies mifslich und so manchen Zufälligkeiten unterworfen, dafs man diesen Versuch aufgeben mufste. Ein anderes Mittel, den Prahm vom Wagen herabzunehmen, und ihn mittels Walzen auf Strecklagern durch die Stadt zu bringen, hätte zwar alle Sicherheit gehabt, würde aber wegen der Langsamkeit der Bewegung viel Zeit erfordert haben. Es wurde daher am 2ten Mai der Strand unweit der Stadt untersucht, und es wurde hier auch eine Stelle gefunden, wo keine Steine und wo hinreichende Wassertiefe vorhanden waren. Darauf, dafs die Chaussée hier keinen Raum zum Ausweichen gewährte, konnte unter den jetztigen Umständen kein Gewicht gelegt werden. Die Frachtwagen wurden auf einen Umweg verwiesen und mit Vorspannpferden unterstützt. Ich beschlofs, mit dem Fuhrwerk bis hieher *zurückzukehren;* wozu auch sofort alle Anstalten gemacht wurden. Da es vor Allem nothwendig war, den Wagen umzuwenden, so ward auf die bisherige Weise das Fahrzeug mit Kreuzpollen gestützt, der Wagen wurde unten herausgeschoben, gewendet und wieder untergebracht. Während dies geschah, ward das beschädigte Strafsenpflaster ausgebessert, mit Stroh in der Länge und Quere belegt und unter jedes Rad eine starke keilförmige Bohle gelegt. Letzteres geschah, um beim ersten Anziehen nicht wieder einzusinken, sondern dem Wagen auf der festen, gleitenden Unterlage sogleich eine rasche Bewegung vorwärts zu geben; wodurch es leichter ward, diese Bewegung in der nur kurzen Strecke bis zur festeren Strafse beizubehalten. Zwei Mann standen an jeder Seite der Vorderräder, um die Keile rasch wegzuziehen, sobald die Räder herunter waren.

Um eine möglichst grofse Kraft anbringen zu können und den Erfolg zu sichern, wurden gegen 80 Mann, die mir zur Disposition gestellt waren, längs einem langen, am Prahm befestigten Tau, zu beiden Seiten vertheilt und aufserdem 18 Pferde vorgespannt. Um 10½ Uhr Morgens wurde das Zeichen zur Abfahrt gegeben; alle Kräfte zogen rasch an und es ging *im Laufen* vorwärts. Der Prahm gerieth bei der raschen Bewegung auf dem unebenen Strafsenpflaster in eine starke Schwankung, die indefs bald vorüberging, so wie er das bessere Pflaster beim Pflegehause erreichte, und es war nun alle Gefahr und Besorgnifs zu Ende. Es waren tiefe regelmäfsige Furchen von den Rädern in das schlechte Strafsenpflaster eingeschnitten worden; doch hatte das ausgebreitete Stroh ein eigentliches Ausweichen der einzelnen Steine verhindert.

Der Wagen gelangte nun auf der Chaussée ohne weitere Schwierigkeit bis zu der Stelle, wo er abgeladen werden sollte. Die Mannschaft wurde jetzt entlassen und die Pferde wurden ausgespannt. Nachmittags wurde der Wagen auf die beschriebene Weise unten herausgezogen und der Prahm so weit niedergelassen, um seinen Boden kalfatern zu können. Am 3ten Juni wurde der kleine Blockwagen nach ***Levensaue*** gesendet, um die dort zurückgebliebenen beiden Taucherboote und sonstigen Requisiten zu holen, während der Prahm am Strande in allen Theilen nachgesehen und kalfatert wurde. Am 4ten Juni war dies beendet und der Prahm auf der Dossirung bis hart an den Strand gebracht. Der heftige Seegang verhinderte indefs, ihn ins Wasser zu bringen und flott zu machen. Die beiden Wagen mit den Werkzeugen und Geräthen, die nicht mehr gebraucht wurden, kehrten an diesem Tage nach ***Hamburg*** zurück. Am 5ten Juni war der Wind ruhiger und der Seegang nicht so stark; so dafs es gegen Mittag gelang, den Prahm in tiefes Wasser zu bringen und in den Hafen zu bugsiren. So war also ein Unternehmen glücklich zu Stande gebracht, dessen Ausführung grofse Schwierigkeiten hatte, und Zufälligkeiten unterworfen war, die sich mit Bestimmtheit weder vorhersehen, noch berechnen liefsen. Die bei dem Unternehmen beschäftigte Mannschaft ist auf die angestrengteste Weise, von Morgens 4 Uhr bis zum Dunkelwerden Abends spät, thätig gewesen und hat sich weder Mühe noch Arbeit verdriefsen lassen. Der Hafenpolirer ***Frech*** und der Schiffbauer ***Graack*** hielten die Mannschaft auf die angemessenste Weise in Thätigkeit und bewiesen eine solche Umsicht und Vorsicht bei der ganzen Arbeit, dafs auch nicht ein einziger Unfall sich ereignete.

Am 6ten, 7ten und 8ten Juni wurden das Gerüst, das Getriebe und die Glocke auf das Verdeck des Prahms gebracht. Die im Verdeck zur Abnahme des Gerüstes eingeschnittenen gewesenen Öffnungen wurden wieder gedichtet und Alles so weit gänzlich in Ordnung gebracht, dafs am Sonnabend den 9ten Juni der Anfang mit den Taucher-Arbeiten und der ferneren Bergung des Wracks gemacht werden konnte.

Beschreibung der Örtlichkeit.

Die Zwischenzeit hatte ich zu einer genauen Untersuchung der Örtlichkeit und der Lage des Wracks angewendet. Die Ergebnisse davon sind in den beigefügten Zeichnungen (Taf. XIII. Fig. 9) dargestellt.

Wie es der Situationsplan (Taf. XI. Fig. 5) zeigt, ist das Linienschiff Christian VIII. in der *Eckernförder* Bucht, der ersten Südbatterie gegenüber, mit der Hinterstirne der Stadt zugekehrt, 7 bis 800 Fufs vom Ufer entfernt auf den Grund gerathen. Die Tiefe, in welcher der Boden des Wracks auf dem Grunde auflag, beträgt gegen 24 Fufs bei gewöhnlichem Wasserstande. Der Grund besteht aus festem, grobem Sande und ist fast durchgehends mit Seetang bewachsen, welches im Sommer 6 bis 8 Fufs lang wird. Näher dem Strande zu nimmt die Tiefe allmälig ab, und es findet sich hier nur wenig oder gar kein Seetang. Im Bereiche des Wracks war der Seetang verschwunden und der Grund mit einer weichen Masse überzogen, welche bei der geringsten Berührung das Wasser schwarz färbte, einen höchst üblen Geruch verbreitete und das Arbeiten in der Glocke sehr erschwerte. Diese Masse bestand aus verwesenden Theilen von umher liegenden Victualien, Leichen u. s. w., und die aufsteigenden Dünste waren stellenweise so stark, dafs das Innere der Glocke schwarz anlief und die Taucher, während sie darin arbeiteten, an heftigem Kopfschmerz und Schwindel litten.

Es ist in der Bucht ein tägliches unregelmäfsiges Steigen und Fallen des Wassers bemerkbar. Obgleich die Wirkungen der Ebbe und Fluth dabei nicht ganz ohne Einflufs bleiben, sind es doch hauptsächlich nur die östlichen und nördlichen Winde, welche das Wasser über den gewöhnlichen Stand erheben, während westliche und südliche Winde das Gegentheil thun. Bei dem letzteren Winde ist die Wellenbewegung in der Bucht, selbst bei Stürmen, nicht sehr bedeutend, und die Arbeiten in der Glocke wurden nur selten unterbrochen. Ein Anderes ist es bei östlichen und nordöstlichen Winden. Da die Bucht nach Osten gegen die See hin offen ist, so pflanzen sich die aus der See kommenden Wellen bis ganz in die Bucht hinein fort und verursachen eine solche Schwankung der Fahrzeuge, dafs man es nicht wagen durfte, die Glocke niederzulassen, oder im Grunde zu arbeiten, weil die Taucher durch heftiges Stofsen der Glocke auf feste Gegenstände in die gröfste Gefahr gerathen sein würden. Schon bei ganz schwachem Ostwinde tritt eine bemerkbare Schwankung der Fahrzeuge ein; und einstmals hatte man die merkwürdige Erscheinung, dafs bei schwachem Westwinde und einer gänzlich ruhig scheinenden Oberfläche des Wassers die Taucherglocke und die nahe liegenden Fahrzeuge so heftig zu schwanken begannen, dafs die Arbeit aufgegeben werden mufste. In der Nacht sprang der Wind, der schon früher in der See geherrscht haben mufste, nach Osten um.

Wegen der Nähe feindlicher Kriegsfahrzeuge und der Gefahr eines Überfalls mufste der Taucherprahm jeden Abend von der die Südbatterie maskirenden Arbeitsstelle weg- und am nächsten Morgen wieder dorthin gebracht werden; wobei es vom Wetter abhing, ob der sichere *Eckernförder* Hafen gesucht, oder ein näherer Ankerplatz am Strande eingenommen werden konnte. Hiedurch ging viele Zeit verloren, da auch am Tage in der Glocke mehremale die Arbeit unterbrochen und dieselbe wegbusirt werden mufste, weil feindliche Dampfschiffe in die Bucht hereinkamen.

Lage der Beschaffenheit des Wracks.

Bei der Explosion des Schiffs waren alle Masten, nebst Raaen, Spieren, Tauwerk u. s. w. in die Luft geschleudert; die Verdecke waren in Atome zersplittert; der hintere Theil des Schiffs war völlig abgerissen worden, und nur der mit dem Boden zusammenhangende nackte Kiel und ein Theil des Hinterstevens, mit den grofsen zur Befestigung des Steuerruders dienenden metallenen Klammern, war im Grunde liegen geblieben (S. Taf. XII. Fig. 6 u. 7). Vorn an der Backbordseite war der Vorderbug mit einem Stück des Kiels ganz abgesprengt; an der Steuerbordseite hingegen war nur der obere Theil des Bugs weggerissen worden; der untere Theil war noch am Schiffsrumpfe fest geblieben und ragte eben bis unter die Oberfläche des Wassers empor. Die Seitenwände des Schiffs waren in ganzen, zusammenhangenden Stücken vom untern Rumpf getrennt worden. An der Backbordseite lag die Trennung eben über der Wasserlinie, und die ganze Seitenwand war, etwa 140 Fufs lang und über 30 Fufs breit, gegen 30 Fufs znr Seite fortgeschleudert nnd gänzlich kopfübergeworfen worden, so dafs der obere Theil jetzt unten stand. Die an dieser Wand befindlichen Kanonen, mit den Lafetten durch starke Taue daran befestigt, waren hangen geblieben und hielten sie in einer etwas schrägen Lage. An der Steuerbordseite war der Bruch nicht vollständig geschehen und die Schiffswand hing am vordern Ende noch 20 bis 30 Fufs lang mit dem Boden zusammen, während nach hinten zu der Spalt sich immer mehr und bis zu 14 F. breit erweiterte. Diese Schiffswand stand daher nicht steil, sondern lag mehr oder weniger horizontal auf dem Grunde auf. Die Kanonen lagen theils oben auf, theils waren sie durch die Stückpforten gefallen. Der Bruch zwischen dieser Wand und dem untern Rumpf war an allen Stellen ganz unter dem Wasserhau des Schiffs geschehen. Der untere

Rumpf und der Boden des Schiffs waren, mit Ausnahme des Hinterstevens und des Vorderbugs, sehr gut erhalten. Bei näherer Besichtigung zeigte es sich, dafs der Boden nicht horizontal auf dem Grunde auflag, sondern stark nach dem Strande hin sich neigte. Brandspuren von irgend einer Erheblichkeit waren in den grofsen zusammenhängenden Theilen des Wracks, die später ans Land geschafft wurden, nicht zu finden.

Bei klarem, ruhigen Wetter konnte man deutlich den Schiffsballast, bestehend aus regelmäfsigen eisernen, 100 Pfd. schweren Stücken, auf dem Boden des Schiffs in regelmäfsigen Lagen liegen sehen; und so war es begreiflich, dafs unter einem so grofsen, ruhenden Gewicht, der Boden fest in seiner Lage verharren mufste. Wegen der Festigkeit des Grundes hatte sich der Kiel nur wenig eindrücken können; auch war nur wenig Sand hinein gespült worden.

Arbeitsplan.

Die regelmäfsige Arbeitszeit mit der Glocke wurde so bestimmt, dafs die Glocke Morgens von 6 bis 8½ Uhr und von 9 bis 12 Uhr, und des Nachmittags von 2 bis 6 Uhr hinunter gelassen werden sollte. Da, wie schon bemerkt, das Taucherfahrzeug des Abends den Arbeitsplatz verlassen mufste und dadurch viele Zeit verloren ging, so fing die Mannschaft gewöhnlich schon um 4 Uhr des Morgens an, zu verholen, und des Abends war das Fahrzeug erst gegen 7 Uhr, mitunter noch später, wieder am Ankerplatz. Die aufserordentliche Arbeitszeit, vor 6 Uhr Morgens und nach 6 Uhr Abends, wurde der Mannschaft stundenweise vergütigt.

Um die mit der Glocke aus dem Wasser herausgeschafften Gegenstände, mit Ausnahme der Holztheile, ans Land und in die Packräume zu befördern, waren zwei Jachten angenommen worden, die abwechselnd neben der Taucherglocke lagen. Sämmtliche Holztheile wurden, je nach der Gröfse, entweder mit oder ohne Hülfe von Winden und Gienen, an den nahe liegenden Strand geschafft, hier durch eine eigends dazu angestellte Arbeitsmannschaft, unter Aufsicht des Zimmermeister *Glasow*, auseinandergetrennt und die darin befindlichen Eisen- und Kupfertheile herausgenommen. Dieser Theil der Arbeit stand unter der speciellen Leitung des Senator *Lange* in *Eckernförde*. Für die jetzt der Taucherglocke bestimmten Arbeiten zur Bergung des Wracks wurde beschlossen, vorerst die noch im Grunde befindlichen Kanonen, Kugeln, den Schiffsballast und alle sonstigen im Wrack vorhandenen Gegenstände heraus-

zuschaffen und erst dann zur Anwendung des Schiefspulvers zu schreiten, um das Wrack in kleinere Theile zu zersprengen und dadurch die zu hebende Last den vorhandenen Hebewerkzeugen angemessen zu vermindern.

Beginn der Arbeit und fernerer Betrieb derselben, am 9ten Juni.

Am *9ten Juni* wurde die Glocke nach dem Wrack hinbugsirt und es wurden an diesem Tage aus dem Schiffsrumpf 916 Kanonenkugeln von verschiedenem Caliber, besonders 24 und 32pfündige Kugeln, so wie 5 Kartätschenbüchsen herausgeschafft. Das schlechte Wetter hinderte den raschen Fortgang der Arbeit. An den folgenden Tagen begann die Herausschaffung der Kanonen an der Backbordseite. . Dieselbe wurde dadurch erschwert, dafs an der umgestürzten Schiffswand die Kanonen unten und die Lafetten oben lagen und die schweren Taue, mit welchen sie an der Wand befestigt waren, erst gelöset und durchgeschnitten werden mufsten. Es gelang jedoch, 3 bis 4 Kanonen an einem Tage herauszuschaffen. Die Taucher befestigten zu dem Ende an die Kanonen vorne und hinten starke Ketten. Eine Jacht, die am Vordersteven 2 Gienen und dreischeibige Blöcke hatte, wurde dann nach der Stelle hin verholt, wo die Kanone am Grunde lag; die Gienen und Blöcke wurden hinuntergelassen, von den Tauchern im Grunde an die Kanone Ketten befestigt und die Kanone aufgewunden. Sobald dieselbe auf diese Weise aus dem Wasser gehoben war, wurde sie am Vordersteven der Jacht befestigt, welche nun damit nach dem *Eckernförder* Hafen segelte.

Den 27ten Juni.

Bis zum 27sten Juni waren 33 Kanonen, theils 18, theils 30 und 60pfündige, nebst 3 Karonaden, die an der Schiffswand der Backbordseite gelegen hatten, nebst vielen sonstigen Gegenständen, bestehend in Kanonenkugeln, eisernen und kupfernen Geräthen, einigen Waffen u. s. w. aufgewunden und geborgen.

Nachdem die Kanonen abgenommen waren, hatte sich das östliche Ende der Wand um einige Fufs gehoben, und es wurden nun, um möglichen Unglücksfällen beim Arbeiten der Glocke vorzubeugen, mehrere Ketten von hier nach dem festen Hauptwrack gezogen, um die Wand möglichst in ihrer Lage zu erhalten.

Die Glocke sollte jetzt die Arbeiten im Rumpf des Schiffes selbst beginnen. Zu dem Ende war es von grofsem Nutzen, vorerst die Schiffswand

der Backbordseite wegzuschaffen, da die Seitenketten der Glocke sich stets darin verwickelten und die Arbeit dadurch sehr verzögert wurde.

Beseitigung der Schiffswand an der Backbordseite, den 28ten Juni.

Am 28ten Juni wurden daher mit Hülfe der Glocke die beiden Jachten und der Taucherprahm an beiden Seiten der Schiffswand unten befestigt und so die Wand ohne grofse Schwierigkeit gehoben; worauf sie mit Winden an den Strand geschafft und später auseinandergenommen wurde.

Dimensionen dieser Wand.

Diese Schiffswand hatte im Zusammenhange eine Länge von 140 Fufs und eine Breite von 25 bis 30 Fufs; die innern Bekleidungsbohlen waren 6 Zoll, die äufsern 7 Zoll stark; die dazwischen befindlichen Innhölzer waren 13 Zoll dick. Es sind in dieser Schiffswand gegen 8000 Cubikfufs Eichenholz enthalten gewesen; mithin wird das Gewicht derselben, mit Inbegriff der eisernen Kniee u. s. w., über 400 000 Pfd. betragen haben.

An den folgenden Tagen wurden noch 6 Kanonen aufgewunden, die an der Backbordseite, in 27 Fufs tiefem Wasser, eine ziemliche Strecke vom Wrack entfernt lagen; desgleichen wurde ein schwerer Anker von 6472 Pfd. Gewicht, nebst 10 Faden Ketten aufgefischt.

Durchsuchung des Grundes an der Backbordseite.

Ehe man die Glocke nach dem Schiffsrumpf hin verlegte, wurde noch zuvor der ganze Grund an der Backbordseite auf 125 Fufs breit durchsucht und es wurden hier noch eine 30pfündige Kanone, so wie eine Menge kleiner Gegenstände gefunden und geborgen.

Aufnahme loser Gegenstände an der Steuerbordseite.

Eben so wurde der Schiffsrand an der Steuerbordseite durchsucht und die hier befindlichen Sachen wurden herausgeschafft.

Den 16ten Juli. Schiffsballast.

Am 10ten Juli wurde mit der Herausnahme des Schiffsballastes begonnen. Derselbe bestand aus viereckigen eisernen Blöcken von 100 Pfd. schwer und einzelnen dreieckigen Blöcken von 50 Pfd. Gewicht. Sie waren

in mehreren Lagen auf einander geschichtet und regelmäfsig gestauet; es gelang, bis zum 14ten Juli 545 Stücke oder nahe an 50000 Pfd. Eisen herauszuschaffen.

Untersuchung der Steuerbordseite, den 16ten Juli.

Bei einer von mir am 16ten Juli mit der Glocke angestellten Untersuchung der im Wrack befindlichen Gegenstände zeigte sich das Vorhandensein mehrerer Kanonen, die unter der Schiffswand an der Steuerbordseite lagen, deren Herausschaffung aber, ohne einzelne Theile der Wand im Bereiche der Kanonen abzusprengen, nicht möglich war. Ich beschlofs daher, die nöthigen Sprengungen, zu welchen die Apparate aus *Hamburg* herbeigeschafft waren, ungesäumt beginnen zu lassen. Es sollten dieselben zugleich zu Versuchen dienen, um aus dem Erfolge die Pulvermenge, welche zu den spätern Sprengungen an den stärker verbundenen Theilen des Vorderstevens und an den untern Theilen des Wracks nöthig sein würde, sicherer beurtheilen und danach die Sprengkasten einrichten zu können.

Spreng-Apparate.

Im Jahre 1843 waren zur Herausschaffung des versunkenen Schiffes *Isabella* aus der Elbe, unterhalb *Schulau*, Sprengungen unter Wasser mit Erfolg gemacht worden. (S. Nachricht von der Sprengung eines unweit *Hamburg* in der Elbe versunkenen Schiffes in diesem Journal von *Th. Hübbe.* Bd. 20. 1844.) Man wich hier von der damals befolgten Methode im Wesentlichen nicht ab und behielt die im Anfange versuchten Änderungen der Construction der Kasten im Verfolg der Arbeiten nicht bei, weil sie sich nicht bewährten.

Sprengkasten aus Föhrenholz.

Zwei Probekasten zur Aufnahme des Pulvers waren in *Hamburg* verfertigt worden. Sie hatten 19 Zoll im Lichten in ihren drei Dimensionen und fafsten, da das verwendete Pulver sehr grob war, jeder 170 Pfd. Pulver. Sie waren aus 4zölligen föhrenen Bohlen verfertigt; die Seitenwände waren mit Zinken und Falzen in einander gefugt und der Boden war mit einem 1½ Zoll langen Falz zwischen die Seitenwände eingelassen. Die Fugen wurden mit Theer angestrichen und der Boden wurde mit Holzschrauben, welche in die Seitenwände hineinreichten, fest angezogen. Darauf wurde der Kasten in-

wendig mit Pech ausgegossen und der Deckel ähnlich wie der Boden befestigt und mit Holzschrauben angeschraubt. Alle Fugen wurden von Aufsen sorgfältig calfatert und mit Pech angestrichen. Um den Kasten von allen Seiten fest zusammenzuziehen und dem explodirenden Pulver einen möglichst starken Widerstand entgegen zu setzen, kamen 4 Gänge eiserner Schraubenbänder von 2 Zoll breit und $\frac{1}{2}$ Zoll dick hinzu, welche sich kreuzten. Die Kasten wurden von *Hamburg* nach *Eckernförde* transportirt; sie mufsten indefs, wie es sich beim ersten Versuch herausstellte, beim Transport gelitten haben.

In der Nähe einer der Ecken des Kastendeckels war eine Öffnung von $1\frac{3}{8}$ Zoll Durchmesser gebohrt, welche einfach durch einen gedrehten, mit Heede und Talg umwickelten hölzernen Pfropfen völlig wasserdicht verschlossen wurde. In der Mitte des Deckels war eine zweite Öffnung von $\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser zur Aufnahme der bleiernen Zündröhre, welche bis in die Mitte des Kastens reichte.

Zu Zündern des Pulvers dienten die sogenannten Ludelfäden oder Zündfäden. Um sie von der Mitte des Kastens bis über die Wasserfläche hinaufziehen und an einem zum Anzünden bequemen Punct befestigen zu können, wurden dünne, gezogene bleierne Röhren gebraucht. Dieselben hatten etwa $\frac{3}{8}$ Zoll im Durchmesser und wurden, je nachdem die Tiefe des Wassers es erforderte, aus Stücken von 20 bis 30 Fufs lang zusammengesetzt. Da diese Röhren sehr biegsam sind und wie Taue aufgerollt werden können, so sind sie zum Transport und zum Gebrauch äufserst bequem; doch müssen sie vorher mittels einer Druckpumpe probirt werden, um von ihrer Dichtigkeit überzeugt zu sein. Durch die Röhre geht der oben erwähnte Zünd- oder Ludelfaden: ein baumwollner Faden, in einem Brei von Mehlpulver, Branntwein und Gummiwasser getaucht.

Abweichend von dem früheren Verfahren wurde die wasserdichte Verbindung der Röhre mit dem Kasten einfach durch eine 5 Zoll im Durchmesser haltende, etwa $\frac{3}{4}$ Zoll dicke Zinktafel hergestellt. Diese Tafel wurde an die bleierne Röhre festgelöthet, und zwar so weit von dem Ende entfernt, als die Dicke des Deckels und die Hälfte der lichten Höhe des Kastens betrug. Zwischen dem Deckel und der Zinktafel wurde eine mit Fett bestrichene Platte von Gutta-Percha gelegt und dann die Zinktafel mit 4 starken Holzschrauben an den Deckel fest angeschraubt. Dies Verfahren war sehr einfach und bewährte sich vollkommen.

Um den Zündfaden in Brand zu setzen und dabei Zeit genug zu behalten, um sich zurückzuziehen, wurden Zündröhren am obern Ende der bleiernen Röhre angebracht. Diese Zündröhren hatten die Form eines T. Die obere horizontal liegende Hülse enthielt eine Mischung von Salpeter, Schwefel und Antimonium, wurde an beiden Enden angezündet und brannte etwa 4 Minuten. Die damit verbundene perpendiculaire Hülse wurde auf die bleierne Röhre gesetzt und festgebunden. Sie enthielt einen Satz, welcher nur einige Secunden mit sehr lebhafter Flamme brannte und den Zündfaden in Brand setzte; worauf unmittelbar die Explosion erfolgte.

Diese Art der Entzündung ist sehr bequem und geschah gewöhnlich mittels eines Brenners; doch halte ich es für rathsamer, sich hiezu einer Lunte zu bedienen, weil so Unglücksfälle sicherer vermieden werden.

Erste Sprengung.

Nachdem am 17ten Juli der Ort wo die Sprengung geschehen sollte (S. Taf. XII. Fig. 7) nochmals genau untersucht war, wurde die Taucherglocke dort vor Anker gelegt und der Kasten, mit etwa 170 Pfd. Pulver gefüllt, mittels eines daran befestigten eisernen Ringes, welcher in schräger Richtung unter der Schiffswand eingeschlagen war, an einer tannenen Spiere hinuntergelassen. Eine zweite, senkrecht eingerammte Spiere diente zur Befestigung der Communicationsröhre. Der mit Ballast-Eisen beschwerte Kasten glitt längs der Spiere in der bestimmten Richtung hinunter und es wurde die aufgerollt gehaltene Leitungsröhre beim Hinabsinken des Kastens gleichmäfsig abgewickelt und dann an die zweite Spiere festgebunden.

Hierauf wurde, nachdem die Taucherglocke entfernt war, die Brandröhre angezündet. Die Zündröhre schlug aber bis in den Kasten durch, ohne dafs eine Explosion erfolgte. Der Kasten mufste also wieder herausgewunden werden und es zeigte sich bei näherer Besichtigung desselben, dafs er, wahrscheinlich beim Transport und durch den Sonnenschein, mehrere feine Risse bekommen hatte, so dafs, unter dem grofsen Wasserdrucke von 24 Fufs, das Wasser in den Kasten gedrungen war und die Pulverladung durchnäfst hatte. Der Kasten wurde nun von Neuem calfatert und gepicht. Bei der später angestellten Probe fand er sich völlig dicht.

Ehe man zur Füllung des zweiten aus *Hamburg* mitgebrachten Kastens schritt, liefs man ihn vorher mehrere Stunden lang in tiefem Wasser liegen. Die durch die Sonnenhitze entstandenen Risse zogen sich dadurch wieder

zusammen und es drang nun bei der darauf angestellten Wasserprobe so wenig Wasser hinein, dafs man, um weiter keine Zeit zu verlieren, am Nachmittage desselben Tages zum Füllen schritt und den Kasten hinunter liefs.

Einige Minuten nach dem Anzünden erfolgte die Explosion. Die Schiffswand hob sich in ihrer ganzen Länge aus dem Wasser empor, senkte sich aber bald wieder hinunter. Ein viereckiges Stück der Wand, von etwa 20 Fufs lang und 12 Fufs breit, wie abgeschnitten, war abgesprengt und stieg an die Oberfläche hinauf; aufserdem waren mehrere einzelne Schiffshölzer gelöset und in die Höhe gekommen. Das Wasser hob sich glockenförmig etwa 20 bis 30 Fufs hoch, ohne viel Pulverdampf.

Wirkung der ersten Sprengung.

Bei der Untersuchung zeigte sich, dafs die Verbindung der angrenzenden Theile des Schiffs in der Nähe des Kastens sich gelöset hatten und dafs der eigentliche Zweck dieser Sprengung erreicht war, indem durch das abgesprengte Stück zwei Kanonen frei zum Vorschein gekommen waren, welche nun am folgenden Tage, zugleich mit zwei Kanonen, die etwa 200 Fufs vom Hintersteven entfernt gefunden waren, herausgeschafft werden konnten.

Am 19ten, 20ten und 21ten wurden 614 Stück Ballast-Eisen, gegen 60 000 Pfd. schwer, aufgewunden. Dies geschah, indem man jedesmal 10 bis 12 Stück, gegen 1000 Pfd. schwer, von einer Kette umschlungen, mittels der kleinen Winde auf den Taucherprahm hob; worauf man sie sogleich in die bereit liegende Jacht lud.

Zweite Sprengung.

Am 21ten Juli wurde der Kasten, welcher beim ersten Versuche versagt hatte, mit etwa 170 Pfd. Pulver gefüllt und etwas weiter nach dem Hintersteven zu hinuntergelassen, um die hier unter der Wand liegenden Kanonen ebenfalls frei zu machen. Diese Sprengung hatte indefs nicht die gehoffte Wirkung. Es wurde zwar ein Theil der Schanzkleidung abgerissen und die Verbindung der Hölzer gelöset, indessen ging der gröfste Theil der Wirkung durch die Kanonenpforten verloren. Dagegen wurde der Grund aufgewühlt und eine Masse Sand umhergeworfen, welcher nun die Holztheile in grofsem Umkreise bedeckte.

Diese beiden Versuche zeigten zur Genüge, dafs die angewendete Pulvermasse nicht Kraft genug hatte, gröfsere Theile vom Wrack abzusprengen,

und dafs, besonders um die stark verbundenen Hölzer des Vorderbugs abzulösen und dadurch die Seitenwand vom untern Schiffsrumpf zu trennen, eine viel gröfsere Pulvermasse nöthig sein werde.

Verfertigung eines Sprengkastens aus Wrackholz.

Es wurde demnach ein Kasten zu 400 Pfd. Pulver in *Eckernförde* in Arbeit gegeben und dazu Eichenholz vom Wrack genommen. Man mufste es indefs als untauglich bei Seite legen, weil keine genügende Dichtigkeit des gerissenen Holzes zu erzielen war.

Verfertigung mehrerer Sprengkasten aus neuem Eichenholze.

Der derzeitige Commandeur der Fregatte *Gefion*, Lieutenant *Poppe*, und der Schiffsbaumeister *Shaw*, welche stets mit der gröfsten Bereitwilligkeit jede nöthige Hülfe leisteten, stellten mir jetzt zwei der tüchtigsten Schiffszimmerleute zur Verfügung, welche nun mit dem Verfertigen aller übrigen Sprengkasten beschäftigt wurden. Es wurden zu den Kasten neue 5zöllige eichene Bohlen genommen. Die Bohlen wurden ohne Zinken, blofs mit Versatz, sauber aneinandergefugt, und sämmtliche Theile wurden durch Kopfbolzen, welche durch und durch gingen, fest miteinander verbunden, damit durch das Calfatern die Bohlen nicht auseinander getrieben werden konnten. Darauf wurde der Kasten in 24 F. tiefes Wasser versenkt und blieb darin 12 Stunden liegen. Bei der Untersuchung war der Kasten halb mit Wasser gefüllt, welches unter dem grofsen Wasserdruck, theils durch die Poren des Holzes, theils durch einzelne feine Risse bei den Bohrlöchern eingedrungen war. Diese Stellen wurden nachgesehen und der Kasten wurde mit einer Mischung von Theer und Pech angestrichen; darüber wurde eine Lage Packpapier gelegt, über diese ein neuer Anstrich aus der oben bezeichneten Mischung aufgetragen und endlich der ganze Kasten mit grober, in Theer getränkter Leinewand überzogen. Hierüber kamen noch, wie vorhin beschrieben, 4 Gänge eiserner Schraubenbänder. Bei der angestellten Probe erwiesen sich die auf diese Weise verfertigten Kasten völlig wasserdicht. Demungeachtet beobachtete ich noch die Vorsichtsmaafsregel, welche in der oben citirten Schrift empfohlen wird, um die Pulvermasse gegen Durchnässung zu schützen, falls durch irgend einen Zufall die Leitungsröhre beschädigt werden sollte. Es wurde nemlich unter dem Deckel des Kastens eine wasserdichte blecherne Büchse befestigt, welche bis zur Mitte der Kasten-Öffnung hinabreichte und die Zündröhre

gänzlich von der Pulverladung trennte. Diese Büchse wurde mit Pulver gefüllt und die Zündröhre, welche bis zum Boden derselben reichte, auf die beschriebene Weise, mittels einer Scheibe von Zink, wasserdicht auf den Deckel angeschraubt. Drang nun durch irgend einen Zufall Wasser durch die Leitungsröhre, so konnte nur die blecherne Büchse angefüllt werden, während die grofse Pulvermasse dagegen sicher blieb.

An den folgenden Tagen fuhr man mit Herausnahme des Schiffsballastes fort und es wurden bis zum 13ten August wiederum gegen 36 700 Pfd. Eisen und mehrere sonstige Dinge, die auf dem Boden des Wracks zerstreut lagen, herausgeschafft.

Die Herausnahme des Ballastes war äufserst beschwerlich und ermüdend, indem derselbe fest an einander gestaut und durch Farbe, Steinkohlentheer u. s. w. stellenweise so fest verkittet war, dafs die Verbindung der einzelnen Theile nur mit Anstrengung gelöset werden konnte.

Um zu erfahren, welche Kraft-Anstrengung wohl nöthig sein würde, das Wrack aus dem Sande zu heben und hiernach die nöthigen Hebewerkzeuge herbeizuschaffen, wurde am 13ten August das Wrack am hintern Ende mittels des Taucherprahms um etwa 5 Fufs gehoben; der Vordertheil folgte dieser Bewegung. Dieser Versuch zeigte zur Genüge, dafs die vorhandenen Mittel ausreichen würden, das Wrack bis zur Oberfläche des Wassers aufzuwinden. Da aber die Backbordseite, welche jetzt schon beinahe die Oberfläche des Wassers berührte, ganz aus dem Wasser hervorgekommen und dadurch das zu hebende Gewicht des Wracks zu grofs würde geworden sein, so war es nöthig, die aufrecht stehenden Theile an der Backbordseite abzusprengen: was auch später glücklich ausgeführt wurde. (S. Taf. XII. Fig. 7.)

Versuch zum Abbrechen der Steuerbordseite.

Gleich darauf wurde ein fernerer Versuch gemacht, die Seitenwand an der Steuerbordseite des Schiffs durch den Taucherprahm zu heben. Die Wand wurde ohne grofse Kraft-Anstrengung bis zur Oberfläche des Wassers in die Höhe gewunden. Darauf wurden zwei starke Taue daran befestigt, welche nach dem Lande hin gebracht wurden. Die Taue wurden mit Erdwinden angewunden und es gelang, das westliche Ende der Wand um den festen Punct am andern Ende, wo es noch mit dem Hauptwrack zusammenhing, zu drehen und so den vorhandenen Spalt um mehrere Fufs breit zu vergröfsern. Wegen der festen Verbindung war aber an ein gänzliches Los-

reifsen nicht zu denken. Die vorhandene Kraft reichte dazu bei weitem nicht hin und die starken Taue zersprangen zuletzt. Es blieb also nichts übrig, als auch hier zu der schon längst beabsichtigten Sprengung zu schreiten.

Vorher wurde noch die ganze Schiffswand durchsucht und alle hierauf befindlichen losen Gegenstände wurden geborgen; auch gelang es, noch eine 18pfündige Kanone, die etwa 200 Fufs von dem Hintertheile des Wracks entfernt lag, zu finden und zu bergen.

Dritte Sprengung, am 20ten August.

Am 20ten August konnte man zu der wichtigsten Sprengung schreiten. Ein Kasten mit 400 Pfd. Pulver wurde in der angegebenen Weise gerade unter den Vordersteven gesetzt (Taf. XII. Fig. 7) und Nachmittags um $5\frac{1}{2}$ Uhr erfolgte die Explosion. Die Wirkung entsprach allen Erwartungen. Ein zusammenhangendes Stück, der Rest des Vorderstevens, von 35 Fufs lang, 30 Fufs breit und 3 Fufs dick, war abgesprengt und trieb in die Höhe, so dafs es ans Land bugsirt werden konnte. Aufserdem konnten drei Boote mit schwimmenden Holztrümmern beladen werden. Bei der Explosion stieg eine glockenförmige Wassermasse etwa 30 Fufs hoch in die Höhe und die Wellenbewegung war in grofser Entfernung bemerkbar.

Die Untersuchung mit der Glocke am folgenden Tage zeigte, dafs der Zweck dieser Sprengung vollständig erreicht sei, indem die Steuerbord-Seitenwand von dem untern Rumpf des Schiffs abgetrennt war.

Der Versuch, die Schiffswand durch die beiden Jachten zu heben, wollte jedoch nicht gelingen. Dagegen wurden zwei kleinere Stücke, von etwa 10 Fufs im Quadrat, die durch das Gewicht der darin befindlichen Bolzen und eisernen Knie am Grunde liegen geblieben waren, durch die Fahrzeuge aufgewunden und an den Strand geschleppt.

Den 22ten August.

Am 22ten August wurden die Hebewerkzeuge am Vordersteven des Taucherprahms und der beiden Jachten mit Hülfe der Taucherglocke an der Seitenwand befestigt und darauf dies ganze Stück ohne besondere Schwierigkeit in die Höhe gewunden und an den Strand gezogen. Am vorigen Tage hatten sich einige abgebrochene, vorragende Innhölzer beim Heben unter den Bodenhölzern festgeklemmt und dies war die Ursache gewesen, dafs die beiden Jachten die Wand nicht zu heben vermochten. Es mufste daher, um

dies Hindernifs zu entfernen, die Schiffswand horizontal so weit abgeholt werden, bis die Hölzer beim Heben nicht mehr anstreiften.

Nachmittags wurden zwei kleine Sprengungen an dem obern Theil des Vorderbugs ausgeführt; welcher Theil bei der Explosion des Schiffs abgesprengt, ans Land getrieben und hier fest gerathen war. Dieses Stück war sehr fest verbunden, lag hoch aus dem Wasser, und es wurde eine Sprengung gewünscht, um es mit geringerer Mühe auseinandernehmen zu können. Ein kleiner Kasten mit 12 Pfd. Pulver lösete den grofsen Krahnbalken und machte ein Loch von 8 Fufs im Quadrat. Ein gröfserer Kasten mit 50 Pfd. Pulver warf ein Stück von etwa 12 Fufs im Quadrat heraus und zerspaltete die in der Nähe befindlichen Hölzer. Bei der Explosion wurden schwere Stücke Holz über 100 Fufs hoch in die Luft geschleudert.

Vierte Sprengung, am 24ten August.

Um den untersten und letzten Theil des Wracks aus dem Grunde heben zu können, war es, wie schon bemerkt, zur Verringerung des Gewichts nöthig, den in die Höhe stehenden und aus dem Wasser hervorragenden Theil an der Bakbordseite in seiner ganzen Länge wegzusprengen. Am 24ten August wurden dazu die nöthigen Vorbereitungen getroffen; es wurde deshalb ein Kasten mit 300 Pfd. Pulver gefüllt, während die Taucherglocke sich nach der Stelle hinlegte und dort verankerte, wo die erste dieser Sprengungen geschehen sollte. Während dieser Arbeiten erhob sich ein heftiger Wind, und als der Kasten versenkt und alles zum Anzünden fertig war, kam ein heftiger Regen. Wegen der dadurch entstandenen Wellenbewegung war das Herausziehen des Kastens nicht möglich, ohne befürchten zu müssen, dafs die Zünd-Leitröhre durchnäfst und beschädigt werden würde. Es wurde daher hier versucht, unter dem Schutze eines grofsen Persennings, welches dem Feuerwerker an der Zündröhre über den Kopf geworfen wurde, die Zündung auszuführen. Wegen der Schwankungen des Bootes und des unter dem Persenning entstandenen Zugwindes war das Anzünden so unsicher geworden, dafs ungeachtet aller Anstrengung und Vorsicht die Flamme des Brenners den untern verticalen Theil der Zündröhre fafste, welche, wie oben erwähnt, einen nur wenige Secunden brennenden Satz hatte. Dieser gerieth sogleich in Brand und die Explosion erfolgte, ehe das Boot, in welchem sich der Feuerwerker ***Bergholtz***, der erste Taucher ***Moje***, der Schiffer ***Olsen*** und der Verfasser dieser Darstellung befanden, im Stande war, sich von der Stelle zu entfernen,

Das Boot, welches grofs und stark gebaut war, wurde mit der sich hebenden Wassermasse fast senkrecht in die Höhe gehoben und gelangte, ohne umzuwerfen, so wie ohne Beschädigung, aber beinahe mit Wasser angefüllt, wieder an die Wasserfläche. Die durch die Explosion abgesprengten einzelnen Holztheile wurden glücklicherweise nach einer andern Richtung geschleudert und es traf die im Boot befindlichen Personen nur die niederstürzende Wassermasse.

Durch die Explosion war ein grofses Stück abgesprengt worden: von 40 Fufs lang, an einem Ende 20 Fufs, am andern Ende 16 Fufs breit. Es trieb auf dem Wasser und wurde sofort nach dem Lande bugsirt. An den folgenden Tagen wurden, aufser mehreren sonstigen Gegenständen, 3 Kanonen, die entfernter von der Bakbordseite des Wracks gefunden worden waren, aufgefischt und geborgen.

Um das erwähnte, nahe am Strande liegende Bugstück noch in mehrere Theile zu zerkleinern, wurde am 29ten August ein Kasten mit 50 Pfd. Pulver hinuntergebracht und angezündet. Diese Sprengung hatte eine gute Wirkung; die Verbindung der grofsen Hölzer ward gelöset und es wurden Balken und kleine Holzstücke 100 bis 200 Fufs hoch, so wie horizontal 400 bis 500 Fufs weit, fortgeschleudert.

Am 30ten August sollte eine abermalige Sprengung geschehen; die Stange, an welcher der Kasten hinunter gelassen wurde, brach indefs unglücklicherweise, ehe der Kasten weit genug hinabgekommen war, und mufste daher wieder aufgewunden werden. Nachmittags wurde ein neuer, stärkerer Baum im Grunde längs dem Wrack eingeschlagen und daran der Kasten niedergelassen. Die Zündung versagte jedoch; der Kasten wurde wieder aufgewunden, und es zeigte sich bei Untersuchung desselben, dafs sich beim Hinablassen die bleierne Röhre in sich zusammengedreht hatte. Der Zusammenhang des Leitfadens war dadurch unterbrochen worden und die Zündung nur bis zu dieser Stelle fortgegangen. Das Pulver, sowohl im Kasten, als in der blechernen Büchse, war völlig trocken geblieben.

Am 31ten August wurde wieder eine Kanone, an 200 Fufs von der Bakbordseite des Wracks entfernt, in 31 Fufs tiefem Wasser gefunden und in die Höhe gebracht.

Es trat nun, bei starkem Winde, ein so heftiger Seegang ein, dafs die Arbeiten der Taucherglocke auf mehrere Tage unterbrochen werden mufsten. Erst am 6ten September konnte wieder damit fortgefahren werden.

Fünfte Sprengung, am 6ten September.

Am 6ten September konnte die fünfte Sprengung neben der vierten ausgeführt werden. Ein Kasten mit 200 Pfd. Pulver wurde niedergelassen. Bei der Explosion hob sich die Wand, welche noch gegen 60 Fufs lang war, in die Höhe, sank indefs bald wieder hinunter, ohne dafs gröfsere abgesprengte Stücke in die Höhe trieben. Die Wandhölzer waren nach vorne hin von den untersten Bodenhölzern gelöset; dagegen war nach hinten zu noch ein Zusammenhang von 8 bis 10 Fufs geblieben, so dafs eine fernere Sprengung nöthig war. Einige kleinere Stücke der Bekleidungsbohlen waren abgerissen worden und konnten ans Land gebracht werden.

Sechste Sprengung, am 7ten September.

Die am 7ten September, als Fortsetzung der fünften, weiter nach hinten zu, mit einem Kasten von 300 Pfd. Pulver ausgeführte Sprengung, hatte eine vortreffliche Wirkung. Die ganze, noch in die Höhe stehende Wand (Taf. XII. Fig. 6 und 7) wurde abgesprengt und trieb in die Höhe. Dieses Stück war, im Zusammenhange, 60 Fufs lang und 20 Fufs breit und wurde durch Boote ans Land gebracht.

Untersuchung des Bodens vom Wrack, am 8ten September.

Am 8ten September wurde mit der Glocke das noch vorhandene Wrack sorgfältig untersucht. Es fand sich, dafs der hinten frei liegende Kiel an einer Stelle gebrochen sein mufste, da er, nebst den Resten des Hinterstevens, jetzt platt auf dem Grunde darniederlag. Weiter hin waren die Rippenhölzer mit den Bekleidungsbohlen auf 50 Fufs lang fast vom Kiel abgeborsten. Eine Menge Holztrümmer lagen, durch die Explosion über einander geworfen, da; namentlich war das Wrack am hintern Theile sehr zertrümmert, während es weiter nach vorn weniger gelitten hatte. Alle losen Trümmer, als Holz- und Eisentheile, losgerissene Kupferplatten u. s. w., mufsten nun erst weggeräumt werden, ehe man zum Heben des Schiffsbodens schreiten konnte; was denn in den folgenden Tagen geschah.

Aufwinden des Schiffsbodens.

Man kam nun an die schwierige Operation, den ganzen Boden des Schiffs, welcher über 180 Fufs lang und etwa 30 Fufs breit im Zusammenhange auf dem Boden des Meers lag, bis an die Oberfläche des Wassers zu

heben und ihn dann, in dieser Lage schwebend, an den Strand zu winden. Dieser Theil des Wracks bestand aus sehr schweren Hölzern, welche durch eine Menge grofser kupferner Bolzen zusammengehalten wurden. Zudem war noch die ganze äufsere kupferne Bekleidung desselben vorhanden. Einer Schätzung und ungefähren Berechnung nach mufste ein Gewicht von nahe an 100 000 Pfd. unter Wasser gehoben und bewegt werden. Ein solches Gewicht zu bewältigen, genügten zwar die in *Eckernförde* vorhandenen Mittel; doch reichten sie nicht hin, das Wrack, auch nur theilweise, *über* die Wasserfläche zu heben. Die Operation mufste sich daher darauf beschränken, das Wrack bis zur Oberfläche des Wassers in die Höhe zu winden, und dann durch Winden so weit an den Strand zu ziehen, bis die Hebe-Fahrzeuge den Grund berührten und nicht näher kommen konnten. Zum Gelingen dieser Unternehmung war stilles, ruhiges Wetter nöthig, und sie mufste so eingerichtet und beschleunigt werden, dafs das Befestigen der Hebe-Fahrzeuge mittels Gienen an das Wrack, das Aufwinden des Wracks selbst, das Heranwinden sämmtlicher Fahrzeuge mit dem schwebenden Wrack an den Strand, und das endliche Losmachen der Fahrzeuge vom Wrack an *einem einzigen Tage* vollführt werden könne.

Um dies möglich zu machen, wurden schwere Holzschrauben mit hinreichend grofsen Ösen verfertigt und am 12ten September an den Stellen des Wracks, die man vorher dazu ausersehen hatte, fest eingeschraubt. An andern Stellen wurden starke eiserne Ketten festgeschlungen, um sowohl darin, als in den Ösen der Holzschrauben, ohne vielen Zeitverlust die Haken der Gienenblöcke befestigen zu können. Die zum Heben bestimmten 6 Fahrzeuge bestanden in einer Jacht von 46 Fufs lang und 13 Fufs breit; einer Jacht von 40 Fufs lang und 12½ Fufs breit; einer Jacht von 44 Fufs lang und 14 Fufs breit; einer Jacht von 41 Fufs lang und 14 Fufs breit; einem Ever von 59 Fufs lang und 14 Fufs breit; und endlich aus dem Taucherprahm von 45 Fufs lang und 20 Fufs breit. Die vier Jachten und der Ever wurden nach hinten stark mit Ballast beschwert; der Taucherprahm dagegen hatte durch die hinten auf dem Deck befindliche Glocke schon ein starkes Gegengewicht. Am Vordertheil der 4 Jachten und des Evers wurden zwei starke Bäume ausgelegt und daran grofse hölzerne dreischeibige Gienenblöcke mit Gienentauen befestigt. Am Taucherprahm wurden ebenfalls nach vorne dreischeibige eiserne Gienenblöcke, worin eiserne Ketten durchgeschoren waren, eingehängt (S. Taf. XIII. Fig. 8 und 9).

Nachdem alle diese Vorbereitungen beendet waren, begaben sich am

13ten September früh Morgens sämmtliche Fahrzeuge nach der Arbeitstelle und es wurden die Gienen der vier Jachten und des Evers nacheinander mit Hülfe der Taucherglocke an das Wrack festgemacht. Zwei Jachten bekamen ihre Lage an der Bakbordseite (Fig. 9), nahe an dem Vordersteven, dicht bei einander; zwei Jachten und der Ever an der Steuerbordseite: und zwar der erste Ever etwa 25 Fufs vom Vordersteven und die andern beiden Fahrzeuge 30 Fufs von einander entfernt. Der Prahm der Taucherglocke wurde zuletzt dem Hintersteven möglichst nahe placirt und der Gienenblock an den Kiel selbst befestigt. Die Lage der Jachten, quer auf die Längs-Achse des Wracks, könnte vielleicht auffallend sein. Es ist jedoch zu bemerken, dafs theils die scharfe Bauart der Ostseeischen Jachten, theils eine zweckmäfsige Placirung der Hebegeschirre am Bord derselben diese Lage bedingte.

Zu gleicher Zeit wurden zwei starke, am Wrack befestigte Taue nach dem Lande hingeholt und mit den hier befindlichen Erdwinden in Verbindung gebracht. So wie die Gienen der verschiedenen Fahrzeuge am Wrack befestigt waren, wurden sie straff geholt. Auf ein gegebenes Zeichen wurde auf allen Fahrzeugen zugleich angewunden. Die angewandte Kraft zeigte sich völlig ausreichend; das Heben des Wracks erfolgte langsam und sicher, ohne besondere Schwierigkeit und Aufenthalt. Gegen Mittag waren einzelne Theile des Wracks bis an die Oberfläche des Wassers gehoben, und es wurde nun das schwebende Wrack durch die Erdwinden am Lande langsam nach dem Strande hingewunden. Einzelne Hölzer der Steuerbordseite ragten etwas aus dem Wasser hervor, während die Bakbordseite viel tiefer unter der Oberfläche des Wassers hing. So wie das Wrack dem Abhange des Strandes näher kam und die tiefer liegende Bakbordseite den Grund berührte, wurde eine Jacht von der Steuerbordseite weggenommen und an der Bakbordseite wieder befestigt. Auf diese Weise wurde die Bakbordseite noch um mehrere Fufs bis zur Oberfläche des Wassers gehoben, und das Wrack konnte wieder näher nach dem Strande hingewunden werden. Bald fafsten indefs einzelne vorstehende Hölzer, und namentlich der Hintersteven, welcher gebrochen war und stark nachschleppte, wiederum Grund, und es lösete sich ein Theil des Kiels, mit dem Hintersteven, an welchem erstern der Taucherprahm und die eine Landtrosse befestigt waren, allmälig immer mehr von dem übrigen Theile des Wracks ab. Die Trosse wurde daher losgemacht und näher nach dem Vordersteven hin wieder befestigt. In dem Maafse, wie das Wrack nach dem Lande hingezogen wurde, trennte sich der Hintersteven immer mehr,

bis er zuletzt ganz liegen blieb. Der Taucherprahm konnte daher aufser Thätigkeit gesetzt und die Gienenketten konnten losgemacht werden. Beim fortgesetzten Winden lösete sich ein zweites Stück des Wracks von 25 Fufs lang und 18 Fufs breit ab, an welchem eines der Landtrosse befestigt war, und konnte für sich auf den Strand geholt werden. Bald darauf berührten die beiden Fahrzeuge, welche an der Steuerbordseite, zunächst an dem Lande, befestigt waren und etwa 5 Fufs tief gingen, den Grund. Da sie bei dem ferneren Anwinden in Gefahr geriethen, festzustehen, wurde mit dem Winden inne gehalten. Die Gienen wurden gelöset und die Fahrzeuge aufser Verbindung mit dem Wrack gesetzt. In der geringen Wassertiefe von 6 bis 8 Fufs setzte sich das Wrack gleich am Grunde fest, und zwar so, dafs die Hölzer an der Steuerbordseite eben aus dem Wasser hervorragten, während sich die Bakbordseite ganz unter die Wasserfläche senkte. In der geringen Wassertiefe, in welcher jetzt dies letzte Stück vom Wrack lag, konnte die Gröfse desselben leicht gemessen werden: es war gegen 160 Fufs lang und abwechselnd von 8 bis über 30 Fufs breit. Um die Holztheile auseinanderschlagen zu können, war es nöthig, das Wrackstück durch Erdwinden ganz aus dem Wasser auf den trockenen Strand zu ziehen. Da indessen die Mannschaft am Strande noch mit dem Auseinandernehmen anderer Wracktheile beschäftigt war, so blieb das Stück liegen. Später ist es, so wie es dalag, einem Unternehmer für eine runde Summe verkauft worden. Derselbe hat es völlig aufs Trockne geholt nnd es dann zerschlagen lassen.

Eine nach dem Einsinken der Hebe-Fahrzeuge angestellte Berechnung zeigte, dafs eine Kraft von 90 600 Pfd. nöthig gewesen war, um das Wrackstück aus dem Grnnde bis zur Oberfläche des Wassers zu heben. Die Hebekraft vertheilte sich folgendermaafsen:

Der Taucherprahm hatte gehoben	45 000 Pfd.
Der Ever	7 500 -
Die erste Jacht	11 405 -
Die zweite Jacht	8 995 -
Die dritte Jacht	6 300 -
Die vierte Jacht.	11 445 -
Zusammen	90 645 Pfd.

Den 15ten September. Schliefsliche Heraufbringung loser Stücke, und Durchsuchung des Grundes.

Am Tage nach dieser glücklich vollführten Herausschaffung des Schiffsbodens stellte sich so heftiger Wind und Regen ein, dafs die Glocke stille liegen mufste. Erst am 15ten September konnten die am Wrack angebrachten Ketten und Schrauben wieder losgemacht werden. Darauf wurde der abgerissene und in tieferem Wasser liegengebliebene Theil des Hinterstevens mit Hülfe des Taucherprahms und eines Evers in die Höhe gewunden und nahe an den Strand geschafft. Nachmittags wurde noch eine Anzahl eiserner Ballastblöcke, kupferner Bolzen und Platten mit der Glocke aufgewunden und geborgen. In den folgenden Tagen wurde der Grund, an der Stelle wo das Wrack gelegen hatte, sorgfältig durchsucht und es wurden verschiedene eiserne und kupferne Sachen geborgen. Bei sehr klarem Wasser gelang es, noch zwei im Grunde liegende Kanonen zu entdecken und die Lage derselben zu bezeichnen. Am 18ten wurden diese beiden Kanonen, so wie ein Ende Balken, mittels eines eisernen Davits und eines zweischeibigen Blocks in die Höhe gewunden und ans Land geschafft. Der Grund wurde darauf noch mit Packdraggen und langen Ketten, die von zwei Booten gezogen wurden, in allen Richtungen durchsucht, ohne jedoch irgend etwas Erhebliches zu finden. Eine sehr verwesete Leiche wurde aus dem Wasser gefischt und der Erde übergeben.

Man hatte die Absicht, an den folgenden Tagen diese Untersuchungen noch weiter entfernt von der Stelle des Wracks auszudehnen, um die noch fehlenden 6 Kanonen zu finden, indefs trat schon am 19ten und den folgenden Tagen ein so heftiger Nordostwind und für die Fortsetzung der Arbeiten so ungünstiges Wetter ein, dafs die Taucherglocke in den Hafen gebracht und die Arbeit mit derselben eingestellt werden mufste.

Ende der Arbeit.

Da der Wind östlich blieb, und keine Aussicht war, dafs bald genug günstigers Wetter eintreten werde, so wurde, mit Rücksicht hierauf, und um bei längerem Verzuge die Sicherheit des Taucherprahms bei dem Transport desselben zur See nach *Hamburg* in der schon so sehr vorgerückten Jahreszeit nicht zu gefährden, beschlossen, die Arbeiten der Taucherglocke zu *Eckernförde* aufhören zu lassen und die nöthigen Vorkehrungen zum Transport der Glocke über Land und des Taucherprahms zu Wasser nach *Hamburg* zu treffen.

Wegen der noch fehlenden Kanonen konnten die Nachforschungen, um sie zu finden, bei stiller See immer wieder aufgenommen werden, und es wird keine Schwierigkeit haben, sie, da sie lose auf dem Meeresgrunde liegen, sobald ihre Lage nur gefunden ist, mit starken Zangen, auch ohne Taucherglocke, zu fassen und in die Höhe zu winden.

Rückkehr der Taucherglocke nach Hamburg.

Am 21ten wurde die Glocke vom Fahrzeuge abgenommen, ans Land gebracht, auf einen starken Frachtwagen gesetzt und ganz zu Lande nach *Hamburg* befördert; wo sie auch unbeschädigt wieder anlangte. Das hohe Gerüst liefs man diesmal auf dem Prahm, und es wurde letzterer am Sonnabend den 22ten Morgens 11 Uhr durch die Dampboote *Löwe* und *Bonin* nach *Hattenau* bugsirt, wo er Nachmittags um 5 Uhr anlangte und noch an demselben Tage die *Friedrichschleuse* passirte. Am 23ten wurde der Prahm durch Pferde längs dem Canal weiter befördert. Er erreichte *Rendsburg* am 24ten Abends spät und mufste hier einen Tag liegen bleiben, weil das Bugsirboot einer Ausbesserung am Kessel bedurfte. Am 26ten wurde der Prahm durch das Dampfboot längs der *Eider* bis *Tönning* bugsirt, wo er am 27ten Morgens früh anlangte, aber bis zum 2ten October wegen stürmischen Wetters liegen bleiben mufste. Am 2ten October Morgens 5 Uhr ging der Prahm, bugsirt von dem Dampfboot *Harriet,* von *Tönning* ab, erreichte, nach einer stürmischen Fahrt über See, Abends spät *Cuxhaven,* und traf am folgenden Tage glücklich wieder in *Hamburg* ein.

Übersicht der geborgenen Gegenstände.

Es sind mit der Taucherglocke nachstehend verzeichnete Gegenstände aus dem Meeresgrunde herausgehoben und geborgen worden.

An Kupfer:

6 Pumpenröhren, 1 grofse Kugel, 1 Topfdeckel, 1 Casserole, 1 Büchse, 1 Dose, 39 Bolzen, 171 Platten. Die bei weitem gröfsere Zahl von Bolzen und Platten ist von dem ans Land gewundenen grofsen Wracktheilen beim Auseinandernehmen derselben gewonnen worden und unter dem Obigen nicht mitbegriffen.

An Messing:

6 Treppen und Fallreppgeländer, 1 Schüssel.

An Metall:

1 Pumpe von einer Feuerspritze, 6 Röhren, 4 Pumpensiebe, 1 Stück 5 Fufs lang, 1 Büchse.

An Blei:

1 Kasten, 5 einzelne Stücke, 2 Röhren, 1 Wasserkasten.

An Zinn:

57 Kannen, 1 Waschbecken, 15 Schlofsdeckel.

An Eisen:

1 Teuwagen, 2 Topfdeckel, 1 Kasten zu einem Koch-Ofen, 19 grofse Knie, nicht mehr ganz, 14 dergleichen ganz, 1 Ballastschaufel, 11 Kuhfüfse, 4 Äxte, 10 Platten und 8 Deckel zu den Wasserbehältern, 3 Schraper, 1 Hammer, 4 Zepter, 1 grofser Ofenkasten, 1 Kettenhaken, 1 grofser Hebebaum, einige Rost-Eisen zu Öfen, 1 Kettenschlinge, 1 grofser Raabiegel, 1 kleiner Winkel, 2 Hängeschlösser, 1 grofser Biegel, 8 Stangen, 1 Gewicht von 150 Pfd., 2 grofse Ringe, 2 Ofenthüren, 1 Schlofsholz, 1 Kette mit 2 grofsen Juffers, 1 kleiner Waagebalken, 1 dicke 18 Fufs lange Kette, 2 doppelte Scheckel, 1 kurze $\frac{3}{4}$ zöllige Kette, 1 Takelblockhaken, 1 Kettenstopper, 1 Balken mit eisernem Davit, eine grofse Anzahl Bolzen, Stangen, Bänder u. dgl. m.

Tauwerk, Blöcke, Segeltuch u. s. w.

28 Takelblöcke, 1 Rollblock, 6 Takelscheiben, 1 Gienenbacksblock, 1 Schaluppen-Davit, 8 Segeltuchsäcke, 1 Taufänger mit etwas Tauwerk, 1 langes Stoptau, 2 kurze Taue, 4 Brooktaue, 1 Fallreeptau, 1 Ende dickes Tau, 1 ganze $1\frac{1}{2}$ zöllige Trosse, 1 grofse Raamatte, 1 langes Wandtau, 1 Hangematte, 4 dicke Taustroppen, 1 grofses Stück Wandtau mit 2 grofsen Jubbers, einige Enden Tauwerk, 2 lange Stücke Wandtaue, 1 kurzes dergleichen, einige kurze Enden Trossen, 1 Paket altes Segeltuch, 1 Stück 24 Garn Leine, 2 hölzerne Walzen.

Kanonen, Kugeln, Lafetten u. s. w.

3 eiserne 60pfündige Kanonen, 21 eiserne 30pfündige Kanonen, 20 eiserne 18pfündige Kanonen, 3 Karonaden, wovon 1 mit Lafette, 31 hölzerne Lafetten, 5 eiserne Lafetten, 5 Kanonen mit Kardusen, 104 Kartätschenbüchsen, 5 kupferne Kardusendosen, 1 kupferner Zündkasten, 3137 Kanonenkugeln von verschiedenem

Caliber, 2 Tau Kanonenwischer, 1 Kugelkasten, 1 Kugelzange, 24 Pistolen, 28 Degen, 25 Enterbeile, 5 Espignolen, 13 Flinten, 1 Sextant.

Anker-Ballast.

1 Anker von 6472 Pfd. Gewicht, mit 10 Faden Kette; 6093 Stück Ballast-Eisen von 50 bis 100 Pfd. das Stück schwer, im Ganzen über 600 000 Pfd. Gufs-Eisen.

Holztheile vom Schiffswrack.

Die obere Bakbordseite, auf 140 Fufs lang und von 25 bis 30 F. mittlerer Breite; die obere Steuerbordseite, auf 155 F. lang und von über 30 F. mittlerer Breite, nebst einer Menge gröfserer und kleinerer Holztheile, welche durch die Sprengungen abgelöset worden waren. Endlich der Boden des Schiffs, von 160 F. lang und gegen 30 F. breit.

Alle diese Theile des Wracks, mit Ausnahme des Bodens vom Schiffe, welcher, wie oben gesagt, im Zusammenhange einem Unternehmer überlassen ward, sind auseinandergenommen und in Auction verkauft worden. Das aus dem Wrack gewonnene Eisen und Kupfer, mit Ausnahme Dessen, was zur Reparatur der Fregatte *Eckernförde (Gefion)* verwandt worden, so wie eine Menge sonstiger, gröfstentheils beschädigter Gegenstände, sind ebenfalls öffentlich verkauft worden.

Unverkauft sind geblieben die werthvollsten Gegenstände; und zwar 78 Kanonen und 3 Karonaden, die Kanonenkugeln, die Waffen, die unbeschädigten Segel, Taue und eisernen Wasserbehälter, Ankerketten, Anker, der Schiffsballast u. s. w.

Die Kosten des Transports und der Arbeiten der Taucherglocke in *Eckernförde* haben in runder Summe 6320 Thlr. pr. Cour. betragen. Namentlich ist bezahlt worden:

Für den Transport des Taucher-Apparats nach *Eckernförde*	2400 Thlr.
Für die Arbeiten der Taucherglocke in *Eckernförde* . .	3060 -
Für die Sprengungen, ohne den Werth des Schiefspulvers, dessen im Ganzen circa 2000 Pfd. verbraucht wurden	420 -
Für den Transport des Taucher-Apparats nach *Hamburg*	440 -

Dafs diese Ausgaben vielfach durch den Werth des Geborgenen überwogen werden, erhellet leicht aus dem obigen Verzeichnifs desselben.

Die Verwerthung der herausgeschafften und geborgenen Gegenstände gehörte nicht zu dem mir übertragenen Theil des Geschäfts; und kann ich daher keine weitere Auskunft darüber geben.

Der Zweck der Anwendung der Taucherglocke ist erreicht worden, indem nicht allein die werthvollen Gegenstände, welche auf dem Grunde des Meeres lagen (mit Ausnahme einiger weniger Kanonen, die wegen der Ende Septembers am Schlusse der Arbeit eingetretenen stürmischen Witterung nicht aufzufinden waren), sondern auch die verschiedenen Theile des Wracks und der ganze Schiffsboden gehoben und an den Strand geschafft worden sind.

Nachtrag; aus einem Briefe des Herrn Verfassers vom 1ten August 1850.

Im Laufe des Sommers von 1850 sind noch durch den Schiffer *Olsen* zu *Eckernförde* die 6 noch fehlenden Kanonen mit Hülfe eines Wasserfernrohrs, in weiterer Entfernung von der Stelle wo das Wrack lag, und zwar in der grofsen Tiefe von 30 bis 40 F., aufgefunden und glücklich geborgen worden. Desgleichen ein nahe an 6000 Pfd. schwerer Anker, nebst mehreren Faden Ketten. Ferner ist noch ein Theil des vom hintern Ende des Schiffs abgerissenen Wracks, von etwa 16 F. breit, welcher durch die Explosionen in der Nähe der Pulverkammer weiter weggeschleudert war, aufgefunden und ans Land geschafft worden. Dieser Wracktheil ist indefs von geringerer Bedeutung. Von den Kanonen fehlt nur noch eine kleine Karonade.

Beschreibung der Taucherglocke.

Die Taucherglocke ist schon seit lange als ein zu Arbeiten unter der Oberfläche des Wassers geeignetes Werkzeug bekannt und im Gebrauch. Ihre Anwendung beruht auf dem Satze, dafs beim Eintauchen eines unten offenen und oben verschlossenen Gefäfses die in demselben befindliche Luft durch den Druck des das Gefäfs umgebenden Wassers zwar zusammengepreſst, aber nicht aus dem Gefäfse verdrängt wird, so dafs der innere Raum desselben vom Wasser frei und mit Luft gefüllt bleibt, mithin die Möglichkeit erlangt wird, in diesem Raume, ohne Gefahr des Ertrinkens, eine Zeitlang zu verweilen.

Dieser Umstand reicht jedoch noch nicht hin, sondern es ist für die Taucherglocke auch noch eine Vorrichtung nöthig, um die im Innern des Gefäfses eingeschlossene Luft, so wie sie durch das Athmen der darin befindlichen Menschen verdorben und dazu untauglich geworden ist, fortwährend zu *erneuern*.

Diese letztere Vorrichtung besteht in einem biegsamen, wasserdichten Schlauche, dessen unteres Ende in das Innere der Glocke ausmündet und dessen oberes Ende mit einer Luftcompressionspumpe in Verbindung steht, die sich auf dem Taucherprahm befindet. Durch diese Pumpe wird frische Luft hinabgedrückt, und zwar so viel, dafs das Wasser ganz aus der Glocke verdrängt, die verdorbene Luft ausgetrieben und durch reine Luft ersetzt wird. Die Luft in der Glocke nimmt denselben Grad der Verdichtung an, welcher dem Druck des Wassers über der Basis der Glocke entspricht, und wird also um so dichter, je tiefer man die Glocke hinabläfst. Übersteigt die Spannung der in der Glocke zusammengepreſsten Luft den Druck des Wassers, so entweicht die überflüssige Luft durch den untern offenen Raum der Glocke, und es steigt die hinausgetriebene verdorbene Luft in grofsen Blasen nach der Oberfläche des Wassers hinauf.

Die Erfindung der Taucherglocke ist sehr alt. Die ältesten Taucherglocken waren von Holz, wurden mit Gewichten belastet, und die darin befindlichen Personen waren für ihren Bedarf an frischer Luft auf Gefäfse angewiesen, welche neben der Glocke herabgelassen wurden und mit dem innern Raume derselben durch Schläuche in Verbindung standen. Durch das Öffnen eines Hahns konnte man in diese Luftbehälter das sie umgebende Wasser eintreten lassen, welches dann die Luft daraus verdrängte und sie durch den Verbindungsschlauch in die Taucherglocke trieb.

So wird die Glocke des Dr. *Halley* und die ihres Verbesserers *Spalding* von *Edinburg* in älteren Werken beschrieben. Der Gebrauch der Glocke war indefs auf diese Weise weder einfach, noch gefahrlos, und es wird als ein aufserordentlicher Fall angeführt, dafs Dr. *Halley* einmal $1\frac{1}{2}$ Stunde lang in der Glocke unter Wasser zu bleiben vermogte.

Viel wichtiger ist *Smeatons* Änderung der Taucherglocke. Er liefs sie aus Eisen giefsen, versorgte sie mittels einer starken Druckpumpe mit Luft, und gab ihr diejenige Einrichtung, welche sie bis jetzt beibehielt, und welche auch wegen ihrer Einfachheit und grofsen Sicherheit und Bequemlichkeit beim Gebrauch vor allen andern den Vorzug hat. Namentlich in England hat man eine sehr ausgedehnte Anwendung von der Taucherglocke gemacht, und man findet sie fast in allen grofsen Häfen im Gebrauch.

Die Glocke, ausschliefslich aus gegossenem Eisen, bildet im Grundrisse ein rechtwinkliges Viereck von 6 F. 7 Z. lang und $5\frac{3}{4}$ F. breit (S. Taf. XIII. Fig. 10). Ihre obere Decke ist flach gewölbt und hat zwei Verstärkungs-

rippen, welche sich kreuzweise über die ganze Länge und Breite der Glocke erstrecken. Die Höhe der Glocke beträgt 7 F. im Lichten. Die Wand ist in der Decke und im obern Theile 1½ Z., und unten bis 3 Z. dick. Durch diese Zunahme der Wanddicke werden Beschädigungen sicherer vermieden, und zugleich wird der Schwerpunct tiefer hinabgebracht. Das Gewicht der Glocke beträgt 13000 Pfd.; das durch sie verdrängte Wasser wiegt nur 9000 Pfd. Das eigne Gewicht der Glocke reicht daher hin, um sie, ohne weitere Belastung, bis zu jeder erforderlichen Tiefe hinabzulassen.

Auf angegossenen Leisten an den schmalen Seiten der Glocke liegen Bretter, welche zu Sitzbänken für die Arbeiter dienen. In der Mitte der langen Seite, und zwar dicht über dem untern Rande, liegt ein Fufsbrett, welches während der Arbeit gewöhnlich ausgehoben wird, um den Arbeitsraum nicht zu beschränken. In der Decke sind 8 Öffnungen von 8 Z. im Durchmesser, in welche starke, kreisrunde Glasscheiben eingekittet sind. Inwendig, an der Wand, sind Haken befestigt, um leichte Geräthe und Werkzeuge anzuhängen. Aus der Decke tritt ein starker Haken herab, an welchem Flaschenzüge befestigt sind, mittels welcher schwere Gegenstände in der Glocke selbst hinabgelassen, oder aufgehoben werden können.

Die Compressionspumpe zur Versorgung der Glocke mit Luft ist fast ununterbrochen, aufser während des Hebens der Glocke, in Thätigkeit. Diese Pumpe hat zwei Stiefel und einen Luftkessel. Aus letzterem tritt der lederne Schlauch heraus, welcher etwa 3 Z. im Durchmesser hat und durch Kaoutschuk-Firnifs gedichtet ist. In seiner ganzen Länge hat er eine spiralförmig gewundene Feder aus Draht, die das scharfe Biegen und folglich das Brechen oder stellenweise Verstopfen des Schlauches verhindert. Der Schlauch mündet mitten in der Decke der Glocke aus, wo er auf eine luftdicht eingesetzte Röhre von Messing gezogen ist. Die untere Mündung dieser Röhre wird durch ein Ventil geschlossen, welches eine schwache Feder gegen die Öffnung drückt. Die Spannung der einströmenden Luft mufs also so grofs sein, dafs sie auch noch den Druck der Feder überwindet. Das Ventil verhindert aber das Ausströmen der Luft aus der Glocke, und mithin das Anfüllen derselben mit Wasser, wenn der Schlauch irgendwo undicht geworden wäre. Die Glocke steht, wenn nicht gearbeitet wird, auf dem Verdeck; soll sie gebraucht werden, so wird sie durch eine mechanische Vorrichtung so weit nach hinten geschoben, bis sie an einer starken doppelten Kette frei aufserhalb des Fahrzeuges hangt. Mittels einer starken Winde, die vorn im Fahrzeuge ange-

bracht ist, kann die Glocke schneller oder langsamer gesenkt und gehoben werden. Um Unglücksfälle zu verhüten, wird, während die Glocke in freier Luft über dem Wasser schweht, eine zweite Kette eingehakt, die wieder losgemacht wird, sobald die Glocke in das Wasser eingesenkt ist.

Sobald die Glocke über dem Wasser hangt, und getaucht werden soll, fahren die Taucher in einem Boote *unter* dieselbe, steigen von unten hinein und setzen sich auf die Bänke. Hierauf wird die Glocke hinuntergelassen, und nach Anleitung der von den Tauchern gegebenen Zeichen wird die Compressionspumpe schneller oder langsamer in Bewegung gesetzt. Beim Einsinken in das Wasser empfinden die Leute in derselben einen heftigen Ohrenschmerz, der aber aufhört, so wie die Luft im Innern ihres Körpers dieselbe Spannung wie aufserhalb angenommen hat. Bei sehr langsamem Hinablassen der Glocke zeigt sich diese Unbequemlichkeit nur in geringem Maafse: beim Aufsteigen verursacht die Verminderung des Luftdrucks noch weniger Unannehmlichkeit.

Die Durchsichtigkeit des klaren Meerwassers der *Eckernförder* Bucht war durchaus hinreichend zu allen Verrichtungen; im trüben Elbwasser bei *Hamburg* aber müssen die Arbeiten bei Licht geschehen.

Ein grofser Vorzug der eisernen Taucherglocken besteht darin, dafs ein Schlag mit dem Hammer gegen das Eisen sehr deutlich an der Oberfläche des Wassers, selbst aus grofser Tiefe, vernehmbar ist. Umgekehrt können die Taucher in der Glocke deutlich die Hammerschläge hören, welche der Capitain durch Anschlagen an die Kette führt. Der einzelne Schlag bedeutet gewöhnlich „Mehr Luft!"; zwei Schläge „Halt an!"; durch drei, vier, fünf u. s. w. Schläge kann man das Zeichen zu leisen Bewegungen, aufwärts und abwärts, vor und zurück, rechts und links geben.

Das Taucherboot liegt an einem Vor- und einem Hinter-Anker und an vier Seiten-Ankern, so dafs sich das Fahrzeug leicht und schnell in jeder beliebigen Richtung bewegen läfst; was dann gewöhnlich nach den von den Tauchern in der Glocke hinaufgesendeten Signalen geschieht.

Da die Glocke auch leicht senkrecht auf und niederwärts bewegt, und augenblicklich mit diesen Bewegungen inne gehalten werden kann, so ist es möglich, mit derselben genau nach jeder beliebigen Stelle unter der Oberfläche des Wassers zu gelangen und dort die beabsichtigten Arbeiten oder Untersuchungen auszuführen. Es wird indefs dabei vorausgesetzt, dafs die Räume, welche man unter Wasser untersuchen will, oben offen und hin-

reichend grofs zur Aufnahme der Glocke sind. Dies war bei *Eckernförde* der Fall; wo sämmtliche Verdecke des Linienschiffs weggesprengt waren und die Glocke nach allen Stellen im Innern des Wracks ungehindert hinabgelassen werden konnte. -

Da es indessen vorkommen kann, dafs Gegenstände und Räumlichkeiten, wie z. B. das Innere von versunkenen Schiffen, welche noch ihre Verdecke haben, untersucht werden sollen, wohin dann die Glocke nicht gelangen kann, so ist es nöthig, der Taucherglocke einen gut construirten *Taucherhelm* beizufügen, damit der Taucher in demselben aus der Glocke herausgehen und die verlangten Untersuchungen und Arbeiten auch aufserhalb derselben vollführen könne.

Beim Hinablassen der Glocke in starker Strömung, und noch mehr während eines heftigen Wellenschlages, kann die Gefahr entstehen, dafs die Glocke in heftige pendelartige Schwingungen geräth und durch Anstofsen an feste Gegenstände beschädigt wird. Unter solchen Umständen hörte man indefs mit ihrem Gebrauch auf; wenigstens wurde in *Eckernförde* die Glocke, sobald starker Ostwind eintrat, nicht hinabgelassen.

Zum Aufwinden kleinerer Gegenstände, bis zu höchstens 1500 Pfd. schwer, die je nach den Umständen entweder in einen eisernen Kasten gepackt, oder einfach mit Zugketten umschlungen werden, dient eine Nebenkette hinten am Fahrzeuge, welche mit einer kleinen Winde, ungefähr der Compressionspumpe gegenüber, in Verbindung steht. Gröfsere Dinge können zwar mit Hülfe der Glocke selbst, oder mit den auf dem Taucherprahm befindlichen sonstigen Hebewerkzeugen aufgewunden werden; jedoch wurde es in *Eckernförde,* des raschen Betriebes wegen, und mit Rücksicht auf die Menge der vorhandenen Gegenstände, vorgezogen, zwei eigene Hebefahrzeuge dazu zu benutzen. Dieselben hatten am Vordertheile zwei Takeln, welche mittels der Glocke an die aus dem Grunde zu hebenden Gegenstände, als Kanonen, Anker u. s. w. befestigt und durch welche dann dieselben so in die Höhe gewunden wurden.

Das Verfahren beim Aufwinden schwerer, unter Wasser befindlicher Gegenstände, wie Kanonen und Dergleichen, ist folgendes. Das Taucherfahrzeug wird an der Stelle festgeankert, wo z. B. eine Kanone auf dem Grunde liegt. Die Glocke wird senkrecht auf die Kanone hinuntergelassen; worauf dann die Taucher, welche grofse Wasserstiefeln anhaben und sich so auf dem Meeresboden im Bereiche der Glocke frei bewegen können, starke Ketten hinten und vorne an die Kanone befestigen. Auf ein gegebenes Zeichen werden zwei

Gienenblöcke, welche entweder auf dem Taucherprahm selbst sich befinden, oder, wie zu *Eckernförde*, mit einer zum Herauswinden bestimmten Jacht durch Gienen in Verbindung stehen, hinabgelassen und an die angelegten Ketten befestigt. Sobald dies geschehen, wird die Glocke etwas gehoben und so weit von der Stelle entfernt, bis die Kanone aufser ihrem Bereich ist. Hierauf wird die Kanone in die Höhe gewunden, in Fahrzeuge geladen, oder, wie es in *Eckernförde* geschah, an den Bug der Jacht, welche zum Heben bestimmt war, befestigt und weggeführt.

Die Kosten des Gebrauchs der Taucherglocke sind *verhältnifsmäfsig* geringe: in Erwägung, dafs durch sie verborgene Gefahren der Schiffahrt leicht weggeschafft und Gegenstände ans Tageslicht gefördert werden können, die auf andere Weise entweder gar nicht aufzufinden, oder nur mit grofsen Kosten aus dem Wasser herauszuschaffen sein würden.

So wurden bei *Hamburg* von einem in der *Elbe* befindlichen Steinriffe in 65 Tagen gegen 90 Last zu 4000 Pfd. Steine von verschiedener Gröfse aus 18 bis 25 F. bei gewöhnlicher Fluthhöhe tiefem Wasser zu Tage gefördert, und es wurde dadurch die an dieser Stelle den vorbeifahrenden Schiffen drohende Gefahr, welche sich aus mehreren, zwischen den Steinen gefundenen, von Schiffsbeschlägen herrührenden Stücken Kupfer erwies, für die Zukunft beseitigt.

In *Eckernförde* ist die Glocke 87 Arbeitstage lang beschäftigt gewesen; von welchen nur 12 wegen schlechter Witterung nicht haben benutzt werden können.

Die Bemannung des Taucherfahrzeuges bestand aus 1 Capitain, 2 Tauchern und 6 Matrosen. Die Glocke mit ihrem Zubehör ist von *Hugh Morton* in *Edinburgh* verfertigt und das Fahrzeug in *Hamburg* erbaut. Die Kosten der Anschaffung und Ausrüstung des Fahrzeuges und des Apparats haben ungefähr 15000 Mark betragen. (Fig. 10 Taf. XIII.) stellt die im Jahr 1845 von der Stadt *Hamburg* angeschaffte Taucherglocke nebst dem Fahrzeuge vor.

Hamburg im Mai 1850.

Bemerkung des Herrn Wasserbaudirectors Hübbe zu Hamburg.

(Aus einem Briefe desselben an den Herausgeber dieses Journals.)

Es sind zwar mehrere Fälle der Zerstörung grofser Schiffe durch Explosion bekannt; auch ist die Herausschaffung von Schiffstrümmern, oder ganzen Schiffskörpern, aus dem Grunde des Meeres öfter ausgeführt und beschrieben worden: aber selten mögen so vielerlei Umstände, als hier, sich vereinigt haben, welche Gelegenheit zu interessanten Wahrnehmungen gaben.

Wenn das Interesse im Allgemeinen maafsgebend wäre, mit welchem alle bei den Arbeiten am Linienschiffe *Christian VIII.* Betheiligten, während die Daten zu der Zeichnung (Taf. XII.) nach und nach genommen wurden, dem Ergebnisse der Aufmessung des unter Wasser liegenden Wracks entgegensahen, so würde diese Aufmessung allein schon als ein schätzbarer Beitrag zur Kunde der Wirkung grofser Explosionen zu betrachten sein.

Auch scheint mir dieselbe eine brauchbare Grundlage zur Beurtheilung des Zustandes des Linienschiffs *vor* der Explosion zu liefern; so wie der nächsten Ursachen derselben.

Nach meinem Dafürhalten geht nemlich daraus mit grofser Wahrscheinlichkeit hervor, dafs gleichzeitig *zwei* Explosionen Statt gefunden haben; und zwar die eine mehr am hintern Ende des Schiffs, die andere vorn, an der Bakbordseite.

Ohne diese Annahme scheint es mir nicht wohl erklärlich, dafs die Wirkung an der Steuerbordseite so sehr von derjenigen an der Bakbordseite verschieden war.

Die Explosion der grofsen Pulverkammer bewirkte, aufser der Fortschleuderung der Verdecke und des Spiegels, die beiden, parallel mit dem Kiel laufenden Trennungen der Seitenwände von dem Schiffsboden. Da nun die Wirkung dieser Explosion weiter nach vorn schwächer wird, und überdies die Schiffe im Bug am stärksten verbunden sind, so scheint es mir ganz natürlich, dafs seine Trennung nach vorn sich verliert und der Schiffskörper am Bug noch zusammenhangt; und *so* zeigt sich in der That die Wirkung der Explosion an der *Steuerbordseite.*

Wie verschieden aber ist es am Bakbord! Nicht nur ist hier die Trennung vollständig, von einem Ende bis zum andern, sondern es ist sogar

diese Seite des Bugs ganz zerstört, die Schiffswand *parallel mit dem Kiel* weggeschleudert und umgekantet.

Geht hieraus, wie es mir scheint, hervor, dafs gleichzeitige Explosionen an zwei, von einander sehr entfernten Puncten des Schiffs Statt fanden, so dürfte dies nur auf zweierlei Art zu erklären sein: nemlich entweder durch einen sehr ausgedehnten Brand im Schiffe, der zufällig beide Pulvervorräthe in demselben Moment erreichte, oder durch *absichtliches* Sprengen des Linienschiffs. Für die letztere Vermuthung spricht der in der Abhandlung bemerkte Umstand, dafs an den Überresten des Schiffes kaum einige Brandspuren gefunden worden sind.

Ein Theil der Abhandlung betrifft den ausgeführten Transport des Fahrzeuges für die Taucherglocke über Land, vom Holsteinischen Canal nach *Eckernförde*. Auch diese Arbeit erweckte ein lebhaftes Interesse.

Wie verschieden waren nicht die Meinungen, theils über die Ausführbarkeit, theils über die beste Art und Weise derselben! Hier gerade findet man einen Fall, wo die Grenzen des Erreichbaren practisch hervortraten, indem nemlich der Chausséekörper, da wo er auf moorigem Grunde ruhet, unter dem Drucke der Last sichtbare Bewegungen machte und an einer andern Stelle das Steinpflaster durchschnitten wurde. Dafs die Gewichte, Felgenbreiten und alle sonst erforderlichen Data mitgetheilt sind, macht für analoge Fälle eine Benutzung dieser Erfahrungen möglich.

Bei den Pulversprengungen, die zur Verkleinerung des zu hebenden Wracks ausgeführt wurden, hat sich der Satz aufs Neue bestätigt, den ich früher bei einer ähnlichen Veranlassung hervorgehoben habe, dafs man nemlich keine Mühe und Kosten sparen darf, um die Spreng-Apparate, namentlich die Kasten, in möglichster Vollkommenheit und Dichtigkeit herzustellen. Die darauf verwendeten Kosten werden reichlich wieder eingebracht durch die Präcision und Sicherheit der Sprengung.

Die obigen Bemerkungen dürften zur Empfehlung der Ausarbeitung des Herrn *Gullann* beitragen; und stelle ich Ew. etc. gern anheim, dieselben mit abdrucken zu lassen.

13.

Zur Theorie der Gewölbe.

(Von dem Herrn Bau-Conducteur *Scheffler* zu Braunschweig.)

(Fortsetzung der Abhandlung No. 10 in diesem Bande.)

Bei der Untersuchung der vorstehenden fünf Fälle ist vorausgesetzt worden, dafs die durch den Schwerpunct des halben Bogens und seiner Belastung gelegte Verticale *rechts* von dem tiefsten Puncte der Widerlagsfuge vorbeigehe. Es kann jedoch, wenn gleich selten, in Folge einer sehr starken Belastung des Bogens in der Nähe der Anfänge, kommen, dafs die Verticale GP (Fig. 37) *links* vom Puncte A, z. B. in H, die Widerlagsfläche AB durchschneidet. Wollte man alsdann eine Mittellinie des Drucks construiren, welche durch die Puncte D und A geht, so würde die in D nöthige horizontale Kraft Q offenbar *negativ* sein, also kein Bestreben äufsern müssen, die Wölbsteine im Scheitel *zusammenzudrücken*, sondern vielmehr, sie *von einander zureifsen;* was nicht sein kann. Der kleinste Betrag, welchen der horizontale Schub Q möglicherweise haben kann, ist *Null*. Setzt man aber $Q = 0$, so erhält man die schon öfter erwähnte Mittellinie des Drucks, welche die Durchschnittspuncte der vom Scheitel aus allmälig gröfser werdenden Bogenstücke mit den entsprechenden Fugenschnitten verbindet, die hier jedenfalls durch den Punct H der Widerlagsfläche gehen, und die also, wenigstens *zum Theil*, innerhalb der Gewölbdicke liegen wird. Läge die Curve *ganz* innerhalb der Gewölbdicke, so würde der Bogen im Gleichgewicht sein, ohne irgend einen horizontalen Schub zu äufsern. Wenn dies übrigens, wie angenommen wird, nicht der Fall ist, also die Curve zwischen A und C aus der Gewölbdicke heraustritt, so kann sie nicht die wahre Mittellinie des Drucks sein, und es folgt, dafs jedenfalls ein horizontaler Schub, gröfser als Null, Statt finden müsse.

Um diesen Schub und die zugehörige Mittellinie des Drucks, welche immer der Bedingung unterworfen ist, dafs der zugehörige Werth von Q ein Minimum sei, zu finden, wollen wir zuvörderst annehmen, der Punct B, und mithin auch der Punct H, liege *tiefer*, als der Punct C.

Alsdann ist leicht zu sehen, dafs der Endpunct der gesuchten Mittellinie des Drucks nimmer zwischen *H* und *A* liegen könne, weil dies einen negativen Werth des irgendwo zwischen *C* und *D* wirkenden Schubes *Q* bedingen würde: dafs also der fragliche Endpunct jedenfalls zwischen *H* und *B* liegen müsse. Der Anfangspunct der Mittellinie des Drucks in der Scheitelfuge *CD* wird, damit *Q* ein Minimum werde, so hoch als möglich liegen, also vorläufig in *D* anzunehmen sein.

Die äufsersten Gränzen für den Anfangs- und den Endpunct der gesuchten Mittellinie des Drucks sind mithin die Puncte *D* und *A*. Da die durch dieselben gehende, dem Werthe von $Q = 0$ entsprechende Mittellinie des Drucks nur die innere Wölbungslinie durchschneidet, so läfst sich der gegenwärtige Fall dem oben behandelten Falle No. 2 zuordnen, indem man dort den tiefsten Punct *A* der Widerlagsfuge mit dem Puncte *H* in der gegenwärtigen Figur vertauscht. Als nahe liegende Eigenschaften für die wahre Mittellinie des Drucks findet man (indem man, unter Beibehaltung des Anfangspuncts *D*, die Kraft *Q* immer mehr und mehr verstärkt und dadurch die Mittellinie des Drucks immer mehr emporhebt) dieselbe Bedingung, wie in dem obigen Falle No. 2: dafs nemlich die gesuchte, einem Minimum von *Q* entsprechende Mittellinie des Drucks, wie die *DEI*, *durch den Punct D gehen und die innere Wölbungslinie berühren müsse.*

Wenn die hiernach gesuchte Curve *DEI* ganz in der Gewölbdicke liegt, so ist sie die wahre, und *E* ist der bekannte Brechungspunct.

Schnitte die Curve die äufsere Wölbungslinie zwischen *D* und *E*, so wäre offenbar die gesuchte Mittellinie des Drucks diejenige, *welche in ihrem oberen Theile die äufsere Wölbung unterhalb D und in ihrem unteren Theile die innere Wölbung berührte;* insofern eine solche Linie nirgend aus der Gewölbdicke herausträte.

Schnitte jedoch die Curve *DEI* die äufsere Wölbelinie zwischen *E* und *I*, wie dies z. B. die Curve *DEI'* thut, so würde das Gleichgewicht jedenfalls *unmöglich* sein, wenn nur alle von *D* aus auf einander folgenden Puncte der Curve *DEI'* tiefer lägen, als die vorhergehenden, und das Gewölbe würde, nach Art des instabilen Bogens, in dem früheren Falle No. 2, einstürzen. Sobald jedoch die Curve *DEI'* zwischen *D* und *I'* einen Punct mit horizontaler Tangente hätte, zu dessen beiden Seiten die Curve sich nach *oben* erstreckte; so würde noch nicht mit Bestimmtheit auf die Unmöglichkeit des Gleichgewichts geschlossen werden können. Es wäre dann vielmehr an

der Zeit, zuvor nach der zweiten Classe von Mittellinien des Drucks zu fragen, welche gleichfalls einem Minimum des Schubes Q entsprechen, indem sie, wie die Curve $K''E''F''I''$, *in der Nähe des Scheitels zuerst die innere Wölbungslinie bei E'' und dann die äufsere Wölbelinie bei F' berühren, oder die letztere in B treffen würden, so dafs aber der Punct F', oder B' höher liegt, als E''.* Wenn die letztere Curve möglich ist, so bezeichnet sie die wahre Mittellinie des Drucks; welcher alsdann *zwei* Brechungspuncte E'' und F''' angehören. Sollte inzwischen auch diese Curve nicht möglich sein, indem alle durch einen tieferen Punct als D gehenden und die innere Wölbungslinie berührenden Mittellinien des Drucks, eben so wie die DEI', den Gewölbschenkel oberhalb B durchschneiden, so kann der Bogen *nicht* im Gleichgewicht sein, sondern er stürzt nach der Curve DEI' zusammen.

Bei der obigen Untersuchung des Gleichgewichts eines halben Bogens, für welchen die durch seinen Schwerpunct gehende Verticale GP die Widerlagsfläche AB trifft, war angenommen, dafs der höchste Punct B der Widerlagsfuge AB tiefer liege, als der tiefste Punct C der Scheitelfuge DC. Wenn Dies nicht Statt findet, sondern B *höher* liegt als C, so sieht man zuvörderst, dafs wenn *eine durch D gehende und die innere Wölbungslinie berührende Mittellinie des Drucks DEI,* die immer links von H die Widerlagsfläche durchschneiden wird, möglich ist, d. h. nirgend aus der Gewölbdicke heraustritt, diese dem kleinsten Minimum von Q entsprechende Curve die wirkliche sein wird.

Schnitte die Curve die äufsere Wölbungslinie zwischen D und E, so wäre zu untersuchen, ob eine Mittellinie des Drucks, *welche in ihrem obern Theile die äufsere Wölbung unterhalb D und in ihrem untern Theile die innere Wölbung tangirte,* möglich sei; in welchem Falle dieselbe die gesuchte sein würde.

Schnitte jedoch die fragliche Curve die äufsere Wölbungslinie zwischen E und I, wie es z. B. die DEI' thut, so würde unbedingt die zweite, einem Minimum von Q entsprechende Classe von Mittellinien des Drucks, welche, nach Art der $K''E''F''I''$, *zunächst des Scheitels erst einen Punct E'' mit der innern und dann einen höher liegenden Punct F''' mit der äufsern Wölbung gemein haben,* hier eine mögliche Curve geben. Die letztere Nothwendigkeit folgt aus dem schon früher erörterten allgemeinen Satze, nach welchem ein halber Bogen, bei dem der Punct B höher liegt, als C, durchaus im Gleichgewicht sein mufs. Demnach wird in dem vorliegenden Ge-

wölbe gewifs irgend eine Mittellinie des Drucks, welche einem Minimum von Q entspricht, möglich sein. Man sieht auch, dafs, da B höher liegt als C, eine Mittellinie der zuerst betrachteten Classe, wie DEI', wenn sie die äufsere Wölbung durchschnitte, jedenfalls einen Punct mit horizontaler Tangente haben müfste, zu dessen beiden Seiten sich die Curve nach *oben* erstreckte: dafs also *neben* einer solchen unmöglichen Curve sehr wohl eine mögliche Curve zweiter Classe, wie $K''E''F''I''$, existiren kann, welche dann die erstere DEI' in einer geraden Zahl in gleicher Höhe liegender Puncte durchschneidet.

Sollte nicht blofs der Punct B, sondern sogar der Punct H höher liegen als C, so ist es, wie leicht zu sehen, möglich, dafs die Endpuncte I von gewissen construirbaren Mittellinien des Drucks *rechts* von H, oder zwischen H und A fallen können; jedoch nicht tiefer als der Punct, in welchem eine durch C gelegte Horizontale die Widerlagsfläche AB durchschneidet.

Es läfst sich hier die Bemerkung einschalten, dafs ein *scheitrechtes Gewölbe*, bei welchem nothwendig die Bedingung erfüllt wird, dafs der Punct B höher liegt als C, mit hinreichend festen Widerlagen, durchaus nicht in Folge einer Drehung der Wölbsteine um ihre Kanten zusammenbrechen kann; welches auch die Art seiner Belastung sein möge.

Bei der practischen Anwendung der vorstehenden Betrachtungen auf das Gleichgewicht der verschiedenen Gewölbe hat man übrigens zu berücksichtigen, dafs es in der Wirklichkeit keine vollkommen *unprefsbaren* Stoffe giebt; wie die Theorie sie voraussetzt. Dieser Umstand hat zur Folge, dafs die Mittellinie des Drucks nirgend durch eine *Kante* der Wölbsteine gehen, also nirgend eine der beiden Wölbungslinien treffen oder berühren kann, dafs vielmehr jene erstere Curve von den letzteren beiden Linien, überall da, wo im Obigen ein Zusammentreffen angenommen ist, sich um eine gewisse, von der Prefsbarkeit des Stoffs abhängige Gröfse entfernt halten wird. Jedenfalls wird an diesen Stellen die stärkste Zusammendrückung der Wölbsteine in der Nähe der *Kanten* liegen, und die Annahme ist nicht statthaft, dafs die Mittellinie des Drucks überall durch die *Mitten der Fugenschnitte* gehen werde, wenn man die Mitte des obersten und des untersten Fugenschnittes zu Ausgangspuncten dieser Linie willkürlich annimmt und alsdann die innere und äufsere Wölbungslinien so zeichnet, dafs sie auch an den übrigen Stellen zu beiden Seiten gleichweit von der construirten Mittellinie des Drucks ab-

stehen. Wenn man sich die Wölbsteinmasse als unprefsbar vorstellt, so kann bei keinem Gewölbe, welche Form auch die Wölbungslinien haben mögen, die Mittellinie des Drucks in der Mitte zwischen den letzteren beiden Linien sich hinziehen.

Aus der Lage, welche die Mittellinie des Drucks in einem Gewölbe von unprefsbaren Wölbsteinen wirklich annimmt, und in einem Gewölbe von prefsbaren Wölbsteinen zu erreichen strebt, sieht man noch, dafs sich der Druck zwischen den Wölbsteinen nicht überall gleichförmig über die ganze Fläche des Fugenschnitts verbreiten kann; weil dies voraussetzen würde, dafs die Mittellinie des Drucks durch den Mittelpunct der fraglichen Fuge gehe. Demnach ist es eine trügerische Bedingung, welche man zuweilen, um die nöthige *Stärke* des gewölbten Bogens zu finden, zu Hülfe nimmt, diese Stärke so grofs anzusetzen, dafs vermöge der Pressung in einer der Fugen, bei gleichmäfsiger Vertheilung derselben, jede Flächen-Einheit des Fugenschnitts nur mit derjenigen Kraft gedrückt werde, welche die bekannte rückwirkende Festigkeit des Stoffs mit Sicherheit nicht übersteigt. Die Fugenfläche mufs jedenfalls gröfser sein, als nach dieser Bedingung nöthig sein würde, da die einzelnen Theile derselben nicht mit gleicher Kraft gedrückt werden. Hieraus erklärt es sich, warum bei manchen Gewölben die Wölbsteine an einzelnen Stellen dennoch zerspringen, obgleich die Pressung in dem dortigen Fugenschnitte, wenn sie gleichförmig über die Fuge vertheilt wäre, einen viel geringeren Druck auf die Flächen-Einheit hervorbringen würde, als der Stoff unter andern Umständen und unter gleichmäfsiger Belastung, z. B. in hohen Mauern, mit vollkommner Sicherheit aushält.

Wenn ein Gewölbbogen nach einer der zuletzt erwähnten ungenauen Arten zusammengesetzt ist, nemlich so, dafs eine Mittellinie des Drucks *Statt finden* kann, welche alle Mittelpuncte der Fugenschnitte trifft: so ist zu bemerken, dafs ein solcher Bogen in der Wirklichkeit keine geringere, sondern eine gröfsere Stabilität hat, als sie der gedachten hypothetischen Mittellinie des Drucks entsprechen würde. Denn es ist leicht, zu zeigen, dafs die *wahre* Mittellinie des Drucks, welche sich nach den vorhin entwickelten Gesetzen, in den Brechungspuncten, der innern oder der äufsern Wölbungslinie dicht anschliefst, bei ihrem ferneren Verlaufe von derjenigen Kante der untersten oder obersten Fuge, bei deren Erreichen unfehlbar der Einsturz des Gewölbes erfolgen würde, nur noch weiter sich entfernt hält, als es bei der ersten hypothetischen Mittellinie des Drucks der Fall ist.

Da sich den letzten Bemerkungen zufolge die Mittellinie des Drucks in einem aus erdigen Stoffen verfertigten Gewölbbogen, an den Stellen wo, wenn der Stoff unprefsbar wäre, eine Vereinigung mit einer der beiden Wölbungslinien Statt finden müfste, immer etwas nach dem Mittelpuncte des betreffenden Fugenschnitts zurückzieht (was dann auch eine Veränderung des obersten und des untersten Endpuncts der Mittellinie des Drucks zur Folge hat): so folgt, dafs der horizontale Schub Q im Scheitel, oder die horizontale Componente des Widerstandes der untersten festen Stützfläche, ebenfalls eine Veränderung leidet, und dafs derselbe etwas *stärker* sein wird, als das theoretische Minimum, welches der im Obigen näher bezeichneten Mittellinie des Drucks entspricht. Für die Anordnung der Widerlage, gegen welche sich das Gewölbe stützt, würde es demnach wichtig sein, das *Maximum* zu kennen, welches der horizontale Schub Q möglicherweise annehmen könnte.

Dieses Maximum des Schubes Q entspricht, den früheren Untersuchungen gemäfs, derjenigen möglichen (aber deshalb in Wirklichkeit noch nicht existirenden) Mittellinie des Drucks, welche *einen* Punct mit der *innern* und *einen tiefer* liegenden Punct mit der *äufsern* Wölbungslinie gemein hat. Um diese Curve für die verschiedenen Formen und Belastungen eines halben Bogens zu finden, kann man folgenden Weg einschlagen, welcher dem vorigen Verfahren bei der Ermittelung der einem Minimum von Q entsprechenden Mittellinie des Drucks analog ist.

Da der Hebel-Arm des Drucks Q im Scheitel für irgend einen in der Widerlagsfuge AB (Fig. 38) angenommenen Stützpunct am kleinsten ist, wenn man jene Kraft im tiefsten Puncte C der Scheitelfuge CD wirksam sich vorstellt, und da der Hebel-Arm für das Gewicht des Halbbogens $ABDC$, nebst dessen Belastung, am gröfsten ist, wenn man den Stützpunct im höchsten Puncte B der Widerlagsfuge annimmt: so folgt, dafs eine durch C und B gehende Mittellinie des Drucks, wenn sie sonst zuläfslich ist, d. h. wenn sie ganz in der Gewölbdicke liegt, den möglich-gröfsten Werth von Q bedingen wird.

Es ist schon angemerkt worden, dafs die durch den Schwerpunct des Halbbogens und dessen Belastung gehende Verticale nur *rechts* vom Puncte B liegen kann, so wie, dafs es bei der jetzigen Untersuchung gleichgültig ist, ob die Verticale rechts vom Puncte A, oder links von demselben, zwischen A und B liegt; welcher letztere Umstand bei der Aufsuchung des *Minimums* von Q eine besondere Betrachtung erforderte. Dagegen ist nochmals daran

zu erinnern, dafs bei einem sehr flachen Bogen, wo der Punct C tiefer liegt, als B, wo sich also zwischen gewisse Puncte der Scheitel- und der Widerlagsfuge horizontale Linien ziehen lassen, welche ganz in der Gewölbdicke liegen, das *Maximum* von Q *unendlich grofs* ist und einen unbestimmten, zwischen der Höhe von C und B beliebig zu setzenden Angriffpunct haben kann.

Mit Ausschlufs des letzteren, hiermit erledigten Falles mufs man also in einem Gewölbbogen, für welchen der Punct C *höher* liegt, als B, zuvörderst eine Mittellinie des Drucks CB construiren, welche durch den innern Punct C der Scheitelfuge und durch den äufsern Punct B der Widerlagsfuge geht. Die fünf besondern Fälle, welche hierbei vorkommen können, sind folgende. Sie sollen nur kurz angedeutet werden, da sich der Nachweis der sie betreffenden Behauptungen aus den allgemeinen Eigenschaften der Mittellinien des Drucks leicht ergiebt.

Erster Fall. Die Curve CB kann in ihrer ganzen Erstreckung von C bis B zwischen den beiden Wölbungslinien CA und DB liegen.

Alsdann entspricht das Maximum des Schubes Q dieser Linie CB.

Zweiter Fall. Die Curve CB kann die innere Wölbungslinie, nicht aber die äufsere schneiden.

Alsdann entspricht das Maximum des Schubes Q einer Mittellinie des Drucks, welche durch den äufsern Punct B der Widerlagsfuge geht und die innere Wölbungslinie AC unterhalb des Puncts C berührt; insofern diese Curve sonst überall in der Gewölbdicke liegt.

Schnitte die letzte Curve die äufsere Wölbungslinie *unterhalb* des Berührungspuncts mit der innern Wölbung, so würde das Maximum von Q nach dem späteren vierten Falle zu ermitteln sein.

Fände jedoch ein Schnitt zwischen der letzten Curve und der äufsern Wölbungslinie *oberhalb* des Berührungspuncts mit der innern Wölbung Statt, so würde das Gleichgewicht des Bogens *unmöglich* sein. Ein solcher Schnitt kann daher bei einem im Gleichgewicht befindlichen Gewölbe nicht vorkommen.

Dritter Fall. Die Curve CB kann die äufsere Wölbungslinie schneiden; nicht aber die innere.

Alsdann entspricht das Maximum des Schubes Q einer Mittellinie des Drucks, welche durch den innern Punct C der Scheitelfuge geht und die äufsere Wölbungslinie DB berührt; insofern diese Curve sonst überall in der Gewölbdicke liegt.

Schnitte diese letztere Curve die innere Wölbungslinie *oberhalb* des Berührungspuncts mit der äufsern Wölbung, so würde das Maximum von Q nach dem folgenden vierten Falle zu ermitteln sein.

Fände jedoch ein Schnitt zwischen der letztern Curve und der innern Wölbungslinie *unterhalb* des Berührungspuncts mit der äufsern Wölbung Statt, so würde das Gleichgewicht des Bogens *unmöglich* sein. Ein solcher Schnitt kann also wieder bei einem im Gleichgewichte befindlichen Gewölbe nicht vorkommen.

Vierter Fall. Die Curve CB kann sowohl die innere, als die äufsere Wölbungslinie schneiden, ohne jedoch mehr als einmal die ganze Gewölbdicke zwischen den beiden Wölbungslinien zu durchkreuzen.

In diesem Falle, so wie unter den unter No. 2. und 3. näher bezeichneten besondern Umständen, entspricht das Maximum von Q einer Mittellinie des Drucks, welche in einem ihrer höheren Puncte die innere, und in einem ihrer tieferen Puncte die äufsere Wölbungslinie berührt.

Schnitte die letztere Curve oberhalb des innern Berührungspuncts die äufsere Wölbungslinie, oder unterhalb des äufsern Berührungspuncts die innere Wölbungslinie, oder beide zugleich: so würde das Gleichgewicht des Bogens unmöglich sein; weshalb ein solcher Schnitt nicht zu erwarten ist, sobald das Gewölbe sich im Gleichgewicht befindet.

Fünfter Fall. Die Curve CB schneidet sowohl die innere, als die äufsere Wölbungslinie dergestalt, dafs sie die ganze Gewölbdicke mehr als einmal (also wenigstens dreimal, da zweimal nicht möglich ist) *durchkreuzt.*

Dieser Fall kann sich bei einem im Gleichgewichte befindlichen Bogen nicht ereignen, und wo er sich herausstellt, wird das Gewölbe jedenfalls zusammenstürzen.

Bei dieser Erörterung der verschiedenen auf das Maximum von Q sich beziehenden Fälle ist noch zu bemerken, dafs sie nicht nothwendig mit den frühern Fällen für das Minimum von Q nach der obigen Reihenfolge zusammengehören, dafs sich vielmehr mit irgend einem Falle des Minimums von Q jeder Fall des Maximums von Q verbinden kann.

Eben so wie sich aus der Eigenschaft der *Prefsbarkeit* aller erdigen Stoffe ergiebt, dafs in der Wirklichkeit der horizontale Schub stets gröfser sein wird, als das oben erörterte Minimum, ist auch als Folge jener Eigenschaft leicht zu sehen, dafs das zuletzt gedachte Maximum des Schubes in der Wirk-

lichkeit nicht erreicht werden kann. Der wirkliche Betrag des Schubes Q wird also zwischen dem Minimo und dem Maximo liegen, und würde, nebst der zugehörigen Mittellinie des Drucks, ermittelt werden können, wenn die Elasticität der Wölbsteinmasse genau bekannt wäre und näher in Betracht gezogen werden könnte.

Da aber diese Elasticität in der Regel nicht bekannt ist, und die Wirkungen derselben, selbst wenn sie bekannt wären, in dem Systeme eines aus keilförmigen Stücken zusammengesetzten Gewölbbogens nur sehr schwierig geschätzt werden könnten: so fragt es sich, ob sich nicht eine Mittellinie des Drucks von solcher Beschaffenheit angeben lasse, dafs, wenn dieselbe in dem Gewölbbogen überhaupt möglich ist, der Umsturz des Gewölbes in Folge der *Drehung* nicht zu befürchten sei; wie grofs oder klein auch die Prefsbarkeit des Wölbsteinstoffes sein möge.

Diese für die practische Ausführung von Gewölben sehr wichtige Frage dürfte sich folgendermaafsen beantworten lassen. Wenn gleich in Folge der Prefsbarkeit des Stoffes die dem Minimo des Schubes Q entsprechende Mittellinie des Drucks nirgend einen Punct mit der innern oder äufsern Wölbungslinie gemein haben kann, und sich an den Stellen, wo dies nach der früheren Untersuchung der Fall sein müfste, mehr oder weniger von der fraglichen Wölbungslinie zurückziehen wird: so wird an diesen Stellen doch wenigstens ein Bestreben Statt finden, die wahre Mittellinie des Drucks der Wölbungslinie so nahe als möglich, d. h. so nahe zu bringen, als die Prefsbarkeit des Stoffes es gestattet. Daraus folgt, dafs selbst bei dem weichsten Stoffe die Mittellinie des Drucks an den genannten Stellen *nicht über die Mitte des Fugenschnitts* hinaus sich zurückziehen kann. Stellt man sich daher die Puncte der innern und der äufsern Wölbungslinie, in welchen die einem Minimo von Q entsprechende Mittellinie des Drucks nach der frühern Untersuchung jene Wölbungslinien treffen oder berühren soll, in die *mittlere Wölbungslinie*, d. h. in diejenige Bogenlinie verlegt vor, welche alle Fugenschnitte halbirt, und findet sich nun, dafs eine Mittellinie des Drucks möglich ist, welche die letztere, *mittlere Wölbungslinie* an den fraglichen Stellen trifft. oder berührt, und in ihrem ganzen Verlaufe zwischen den beiden äufsern Wölbungslinien liegt: so wird, wie aus den allgemeinen Eigenschaften der Mittellinien des Drucks leicht zu sehen ist, das Gleichgewicht des Bogens gegen die Drehung unbedingt gesichert sein, da die wahre Mittellinie des Drucks alsdann immer eine Form annehmen wird, welche dem Bogen eine

noch gröfsere Stabilität giebt, als die zuletzt beschriebene. Es ist hierbei nur zu bemerken, dafs, wenn man beabsichtigt, eine Mittellinie des Drucks zu construiren, die an einer bestimmten Stelle die mittlere Wölbungslinie treffen, aber an einer *a priori* nicht gegebenen Stelle dieselbe mittlere Wölbungslinie *berühren* soll, der letztere Berührungspunct vielleicht über den Endpunct jener Linie hinaus fallen könnte. In diesem Falle würde der zweite Punct, welchen die gesuchte Mittellinie des Drucks mit der mittleren Wölbungslinie gemein haben müfste, kein Berührungspunct, sondern ein mit dem äufsersten Endpuncte dieser Linie zusammenfallender Durchschnittspunct sein.

Wäre z. B., in dem obigen *zweiten* Falle des Minimums von Q, *cea* (Fig. 39) die mittlere Wölbungslinie, und liefse sich eine Mittellinie des Drucks *cei* construiren, welche durch den höchsten Punct *c* jener ersten Linie ginge, dieselbe aufserdem bei *e* berührte und ganz innerhalb der beiden äufsern Wölbungslinien CA und DB läge, so würde die wahre Mittellinie des Drucks KI, welche sich im Scheitel dem Puncte D, im Brechungspuncte bei *e* der innern Wölbungslinie und in der tiefsten Fuge AB dem Puncte A noch mehr näherte, als die Linie *cei*, dem Bogen nur eine *gröfsere* Stabilität geben können. Wäre es nicht möglich, dafs eine durch *c* gehende Mittellinie des Drucks die mittlere Wölbungslinie *cea* in irgend einem tieferen Puncte berührte, läge dagegen eine durch *c* und *a* gehende Mittellinie des Drucks ganz innerhalb der beiden Wölbungen, so kann, wie leicht zu sehen, auch in diesem Falle die wahre Mittellinie des Drucks nur eine noch *gröfsere* Stabilität bedingen.

Ein den letzteren Bedingungen entsprechender Gewölbbogen kann also, wenn die Widerlagsflächen unverrückbar sind, durchaus nicht in Folge der *Drehung* seiner Wölbsteine um gewisse Kanten zusammenbrechen; welchen Grad von Prefsbarkeit auch sein Stoff haben mag. Jedoch ist nicht die Möglichkeit ausgeschlossen, dafs derselbe in Folge einer *Zermalmung* der Wölbsteine durch zu grofsen Druck, oder in Folge eines *Gleitens* der Wölbsteine auf gewissen Fugenflächen, einstürze. Die Sicherheit gegen die Gefahr, dafs die Wölbsteine durch eine zu grofse Pressung zerdrückt werden, erfordert in allen Puncten des Bogens eine gewisse Stärke der Wölbsteine, oder einen gewissen Abstand der beiden Wölbungslinien von einander, welcher, weil sich der Druck in den Fugen nicht gleichförmig über den ganzen Fugenschnitt vertheilt, und genügende Versuche über die Prefsbarkeit keilförmiger Wölbsteine in Gewölben bisher noch nicht bekannt sind, in den besondern Fällen nur

nach den Maafsen bereits ausgeführter ähnlicher und dauerhaft befundener Gewölbe sich schätzen läfst.

Zur Ausführung der vorstehenden Untersuchungen ist es nöthig, verschiedene Mittellinien des Drucks zu construiren, welche gewissen Bedingungen ein Genüge leisten. Die allgemeine Auflösung dieser Aufgabe gehört der höheren Analysis an. In der Ausübung wird man meistens zu Näherungsmethoden seine Zuflucht nehmen; welche besonders dann eine Erleichterung gewähren, wenn man sie durch *Zeichnung* zur Darstellung bringt. Man wird zu diesem Ende den höchsten und den tiefsten Punct der gesuchten Mittellinie des Drucks, z. B. K und A in (Fig. 30), als gegeben ansehen. Daraus findet sich der horizontale Schub Q in K unmittelbar, weil in Beziehung zum Puncte A das Moment des Gewichts des ganzen Gewölbbogens $ABDC$, mit seiner Belastung, gleich dem Momente der in K angebrachten Kraft Q sein mufs. Nachdem die letztere Kraft, nebst ihrem Angriffpuncte, bekannt ist, läfst sich die Mittellinie des Drucks leicht nach der vorhin angegebenen (in Fig. 11 dargestellten) Art construiren. Es kommt dabei nur noch auf die Kenntnifs des Gewichts irgend eines Bogenstücks, wie etwa DF, und der auf demselben ruhenden Last, so wie auf die Lage der durch den Schwerpunct dieses Gewichts gehenden Verticale an. Die letzteren Stücke finden sich näherungsweise leicht, wenn man sich die Belastung des Bogens, nebst der Bogenmasse selbst, durch möglichst nahe aneinander liegende Verticalen, welche bis zur *innern* Wölbungslinie hinabreichen, in paralleltrapezförmige Theile getheilt vorstellt. Ist NFL (Fig. 30) eine solche Verticale, und sind F und L deren Durchschnittspuncte mit der äufsern und der innern Wölbungslinie, während FM der dem Puncte F entsprechende Fugenschnitt ist: so wird man, mit Vernachlässigung der kleinen dreieckigen Masse FML, die zwischen den Verticalen DC und NL liegende Masse als diejenige ansehen können, mit welcher das Bogenstück DF, oder die Fuge FM, belastet ist. Aus dem Gewichte P der letzteren Masse und dem horizontalen Schube Q setzt sich alsdann in der Diagonale des betreffenden Rechtecks die Kraft zusammen, welche auf die Fuge FM wirkt und deren Durchschnittspunct mit dieser Fuge einen Punct in der zu zeichnenden Mittellinie des Drucks abgiebt. Es ist hierbei besonders zu merken, dafs die Substitution der verticalen Linie NFL, statt der gebrochenen Linie NFM, ohne erhebliche Abweichung von der Wahrheit nur insofern zuläfslich ist, als es sich dabei um die Bestimmung des dem Bogenstücke $CMFD$ angehörigen Gewichts P handelt, dafs man jedoch in manchen

Fällen eine sehr unrichtige Mittellinie des Drucks erhalten würde, wenn man die Verlängerung FL der obigen Verticale als die Richtung des dem Puncte F zugehörigen *Fugenschnitts*, und den Durchschnittspunct des unter den Kräften P und Q entworfenen Rechtecks mit jener *Verticalen* (statt mit dem wahren Fugenschnitte FM) als einen Punct der Mittellinie des Drucks ansehen wollte.

Nachdem man die so construirte Mittellinie des Drucks auf die bekannten Bedingungen, welchen dieselbe Genüge leisten soll, geprüft, und gefunden hat, dafs sie diesen Bedingungen noch nicht vollkommen entspricht, wird sich durch zweckmäfsige Änderung ihrer Endpuncte bald eine neue und angemessene Mittellinie des Drucks herstellen lassen, wenn man es nicht etwa vorzieht, die Wölbungslinien des Bogens selbst nach jener ersten Linie zu berichtigen.

b. Gleichgewicht gegen das Gleiten, mit gleichzeitiger Berücksichtigung des Gleichgewichts gegen die Drehung.

Bisher haben wir die Stabilität eines Gewölbbogens nur unter dem Einflusse derjenigen Umstände betrachtet, welche eine *Drehung* der verschiedenen Wölbsteine um einzelne *Kanten* herbeizuführen streben. Es ist aber schon früher darauf hingewiesen, dafs das Gleichgewicht eines solchen Bogens auch dadurch gefährdet werden kann, dafs Wölbsteine auf ihren *Fugenflächen gleiten.*

Um sich von der Sicherheit des Bogens in der letzteren Beziehung zu überzeugen, ist zu prüfen, ob bei der Annahme derjenigen Mittellinie des Drucks, welche nach der obigen Theorie dem Minimo des horizontalen Schubes Q entsprechen würde, alle Pressungen gegen die verschiedenen Fugenschnitte mit den zugehörigen Normalen Winkel einschliefsen, welche nicht gröfser sind, als der Reibungswinkel. Ergiebt sich Dies, so ist die in Rede stehende Mittellinie des Drucks die wahre: wo nicht, so ist diejenige Mittellinie des Drucks die wirkliche, welche bei dem möglich-kleinsten Werthe von Q auch der letzteren Bedingung Genüge leistet.

Wenn man die letztere Prüfung nicht durch geometrische Anschauung, sondern durch Rechnung ausführen will, so sei in (Fig. 40)

Q der horizontale Schub im Scheitel, welcher der Mittellinie des Drucks KNG angehört;

P das Gewicht des Bogentheils $DCEF$, nebst dessen Belastung;

α der Neigungswinkel FHD der Fuge FE gegen die Verticale;

β der Neigungswinkel NIP der auf die Fuge FE wirkenden Pressung gegen die Verticale;

ψ der Neigungswinkel derselben Pressung gegen die Normale auf die Fuge FE;

φ der Reibungswinkel, welcher einem Gleiten der Wölbsteine auf einander in dieser Fuge entspricht: ein Winkel, welcher bei den gewöhnlichen Wölbestoffen etwa 30 bis 37 Grad beträgt, so dafs der Reibungscoëfficient $\text{tang}\,\varphi$ etwa 0,58 bis 0,75 ist.

Wenn sich die Richtung IN der ebengenannten Pressung von *oben* gegen die Normale der Fuge FE neigt, so dafs die Masse $DCEF$ das Bestreben hat, *von oben nach unten*, also in der Richtung FE zu *gleiten*, so ist

$$\psi = \tfrac{1}{2}\pi - (\alpha + \beta).$$

Wenn sich dagegen die Richtung IN der Pressung von *unten* gegen die Normale der Fuge FE neigt, so dafs die Masse $DCEF$ ein Bestreben hat, *von unten nach oben*, also in der Richtung EF zu gleiten, so ist

$$\psi = \alpha + \beta - \tfrac{1}{2}\pi.$$

Unter gleichzeitiger Berücksichtigung dieser beiden Fälle kann man also

$$(1.) \qquad \psi = \pm(\tfrac{1}{2}\pi - \alpha - \beta)$$

setzen. Hieraus folgt

$$\text{tang}\,\psi = \pm\frac{1}{\text{tang}(\alpha+\beta)} = \pm\frac{1-\text{tang}\,\alpha\,\text{tang}\,\beta}{\text{tang}\,\alpha+\text{tang}\,\beta}$$

oder, da $\text{tang}\,\beta = \frac{Q}{P}$ ist,

$$(2.) \qquad \text{tang}\,\psi = \pm\frac{P - Q\,\text{tang}\,\alpha}{P\,\text{tang}\,\alpha + Q}.$$

Dieser Werth von $\text{tang}\,\psi$ darf für keinen Fugenschnitt den Werth des Reibungscoëfficienten $\text{tang}\,\varphi$ übersteigen. Für eine und dieselbe Mittellinie des Drucks ist Q eine constante Gröfse, während P von dem Winkel α abhängig ist, also als eine Function desselben angesehen werden kann. Unter Beachtung dieses Umstandes findet sich das Maximum, welches der Winkel ψ bei irgend einer Fuge erreichen kann, aus der Bedingungsgleichung

$$(3.) \qquad \frac{\partial(\text{tang}\,\psi)}{\partial\alpha} = 0.$$

Angenommen, der aus dieser Gleichung sich ergebende Werth von α sei α_1. Wäre α_1 gröfser als der Neigungswinkel der untersten Fuge BA

gegen die Normale DH, so hätte der Winkel ψ, in der gegebenen Ausdehnung des Gewölbbogens, kein eigentliches analytisches Maximum, sondern nur einen gröfsten Werth, und es wäre alsdann unter α_1 der eben erwähnte Neigungswinkel der untersten Fuge BA zu verstehen, indem alsdann die stärkste Neigung zum Gleiten in dieser tiefsten Fuge Statt finden würde. Setzt man den Werth von α_1 in die Gleichung (2.), so sei ψ_1 der zugehörige, möglich-gröfste Werth von ψ, welcher durch

$$(4.) \qquad \operatorname{tang}\psi_1 = \pm\frac{P_1 - Q\operatorname{tang}\alpha_1}{P_1\operatorname{tang}\alpha_1 + Q}$$

ausgedrückt wird, wenn man durch P_1 den zu α_1 gehörigen Werth von P bezeichnet.

Fände sich $\psi_1 > \varphi$, so könnte die angenommene Mittellinie des Drucks nicht die wahre sein. Zur Bestimmung der wirklichen Mittellinie des Drucks bemerke man zuvörderst, dafs, wenn der aus

$$\psi = -(\tfrac{1}{2}\pi - \alpha - \beta)$$

(was einem Gleiten der Wölbsteine *nach aufsen* entspricht) abgeleitete gröfste Werth ψ_1 gröfser als φ sich herausstellen sollte, das Gleichgewicht des Bogens *unmöglich* ist. Denn die zuerst betrachtete Mittellinie des Drucks ist diejenige, bei welcher der horizontale Schub Q den möglich-kleinsten Werth hat, der nur das Gleichgewicht des Bogens gegen die Drehung zu sichern vermag. Für jede andere mögliche Mittellinie des Drucks wird also Q gröfser sein, als vorhin. Durch Vergröfserung von Q kann sich aber der Neigungswinkel ψ_1, wenn sich die auf die betreffende Fuge wirkende Pressung *von unten* gegen die Normale dieser Fuge neigt, ebenfalls nur vergröfsern, und nicht verkleinern; wie es sein müfste, wenn die neue Mittellinie des Drucks das Gleichgewicht des Bogens *gegen das Gleiten nach aufsen* stärker als die zuerst erwähnte Linie sichern sollte. Das Gewölbe wird unter diesen Umständen, wie in (Fig. 41) vorgestellt, zusammenbrechen, indem in allen den Fugen, für welche der Werth von $\psi > \varphi$ ist, ein Gleiten der Wölbsteine *nach aufsen* erfolgen wird. Mit diesem Ausgleiten einzelner, gewöhnlich in der Nähe der Bogen-Anfänge liegender Wölbsteine ist das Sinken des Scheitels unzertrennlich; ohne dafs jedoch hier ein *Gleiten* der Wölbsteine *nach innen* Statt fände.

In der Voraussetzung, dafs der letztere, das Gleichgewicht des Bogens unmöglich machende Fall nicht eintrete, dafs aber der Werth von ψ_1, welcher

sich aus der obigen Rechnung bei Zugrundelegung des Ausdrucks

$$\psi = (\tfrac{1}{2}\pi - \alpha - \beta)$$

ergiebt, gröfser als φ sei, wird die wahre Mittellinie des Drucks eine solche sein, für welche das Maximum von ψ, oder der Winkel ψ_1, gleich dem Reibungswinkel φ ist.

Setzt man demnach in (4.) $\psi_1 = \varphi$ und löset die Gleichung in Beziehung zu Q auf, so findet man den kleinsten horizontalen Schub; welcher nothwendig im Scheitel Statt finden mufs, damit das Gleichgewicht des Bogens auch gegen das *Gleiten* gesichert sei.

Bei der Auflösung der Gleichung (4.), nach Q, ist aber zu beachten, dafs P_1 eine Function von α_1 ist, und ferner dafs α aus (3.) gefunden wird, also wegen (2.) eine Function von Q ist, dafs mithin die Gleichung (4.) erst dann nach Q aufgelöset werden kann, nachdem für P_1 und α_1 ihre Werthe in Q substituirt sind.

Aus der vorstehenden Betrachtung ergiebt sich also der kleinste horizontale Schub Q, den das Gleichgewicht gegen das *Gleiten* erfordert. Dieser Werth von Q ist unter den obigen Voraussetzungen gröfser als das Minimum des horizontalen Schubes, welches für das Gleichgewicht gegen die *Drehung* nöthig sein würde. Dem letzteren Minimum entspricht, nach den früheren Untersuchungen, nur eine einzige Mittellinie des Drucks. Für jeden gröfseren Werth von Q giebt es indessen eine unendliche Menge von Mittellinien des Drucks, die sämmtlich innerhalb der beiden Wölbungslinien liegen können, und die demnach, da sie sowohl den Bedingungen des Gleichgewichts gegen die Drehung, als gegen das Gleiten, mit dem möglich-kleinsten Werthe von Q ein Genüge leisten, sämmtlich auf Realität Anspruch haben. Wäre z. B. in (Fig. 42) DEI die dem Minimo von Q für die Drehung entsprechende Mittellinie des Drucks, während das Minimum von Q für das Gleiten, welches wir mit Q_1 bezeichnen wollen, so grofs ist, dafs durch den höchsten Punct D der Scheitelfuge keine dem letzteren Schube Q_1 entsprechende Mittellinie des Drucks möglich ist: so wird es für den letzteren Schub eine Mittellinie des Drucks wie $D_1F_1I_1$ geben, die durch einen tiefern Punct D_1 der Scheitelfuge geht und die gleichzeitig die äufsere Wölbungslinie in F_1 berührt, oder sie in B trifft; ferner eine andere, wie $D_2E_2I_2$, welche durch einen noch tieferen Punct D_2 der Scheitelfuge geht und die innere Wölbungslinie in E_2 berührt, oder sie in A trifft. (Von den Puncten D_1 und D_2 könnte auch der eine oder der andere resp. mit D oder C zusammenfallen, indem alsdann die entsprechende Mittellinie des Drucks D_1I_1,

oder $D_2 I_2$, nirgends einen Punct mit der äufsern oder innern Wölbungslinie gemein hätte, sondern ganz in der Masse des Gewölbbogens sich hinzöge.) Aufser jenen beiden sind aber noch eine unzählige Menge anderer Mittellinien des Drucks möglich, welche sämmtlich den horizontalen Schub Q_1 bedingen und durch die zwischen D_1 und D_2 liegenden Puncte der Scheitelfuge gehen. Alle diese Mittellinien des Drucks können die wahren sein, und man sieht, dafs das Gleichgewicht des Gewölbbogens unter diesen Umständen zu einer unbestimmten Aufgabe führt. Diese Unbestimmtheit bezieht sich übrigens nur auf die Lage der Mittellinie des Drucks, also auf den *Angriffpunct* des horizontalen Schubes Q_1 im Scheitel und den Widerstand der Stützfläche AB, während die *Gröfse* der letzteren beiden Kräfte vollkommen bestimmt sich herausstellt. Die Unbestimmtheit hat Ähnlichkeit mit dem einfachen Systeme eines einzelnen keilförmigen Körpers, welcher sich gegen zwei geneigte Ebenen stützt. (M. s. die Aufgabe 2 unter den Anwendungen des Prineips vom kleinsten Widerstande.) Es leuchtet jedoch ein, dafs wenn die Widerlage, gegen welche sich das Gewölbe bei AB stützt, ein Pfeiler ist, dessen Theile selbst wieder drehbar, oder verschiebbar sind, so dafs man denselben wie eine Fortsetzung des Gewölbes ansehen und behandeln kann, nur die unterste Curve $D_2 E_2 I_2$ sich realisiren würde, sobald man diesem Pfeiler die möglichschwächste Dimension oder Stabilität gäbe.

Wenn der aus der letzteren Betrachtung sich ergebende kleinste Werth Q_1, der für das Gleichgewicht gegen das Gleiten nöthig ist, *gröfser* ausfallen sollte, als das weiter oben untersuchte *Maximum* des horizontalen Schubes, welches der gewölbte Bogen hervorzubringen vermag, ist das Gleichgewicht des Bogens *unmöglich*. Derselbe bricht alsdann auf die in (Fig. 43) dargestellte Weise zusammen, indem alle diejenigen Wölbsteine auf ihren Fugen nach innen gleiten, bei welchen, unter Annahme des Maximums von Q, der Winkel ψ gröfser ist als der Reibungswinkel φ. Mit diesem Bruche ist ein Emporsteigen des Scheitels verknüpft; welches jedoch erfolgt, ohne dafs hier die Wölbsteine auf ihren Fugenflächen nach aufsen gleiten. Es wird auch vorausgesetzt, dafs dieser Werth von Q_1, selbst wenn er das Maximum des Schubes für die Drehung nicht überschreitet, kein Gleiten *nach aufsen* an beliebigen andern Stellen des Gewölbes verursache, weil sonst das Gleichgewicht ebenfalls *unmöglich* sein würde.

Die im Vorstehenden nachgewiesenen drei Fälle, wo das Gleichgewicht des Bogens unmöglich ist und der Bogen in Folge eines *Gleitens* gewisser

Wölbsteine nach aufsen oder nach innen einstürzt, können sich *gleichzeitig* ereignen. Der Einsturz erfolgt alsdann so, wie es in (Fig. 44 oder 45) im Allgemeinen vorgestellt ist.

Unter besondern Umständen kann es sogar kommen, dafs bei einem unmöglichen Gleichgewichte ein Gleiten nach aufsen, oder auch ein Gleiten nach innen, an *verschiedenen Stellen* eines und desselben Bogens Statt findet. Das Maximum des Winkels ψ mufs alsdann für diesen Bogen mehrere Werthe haben, welche eben so vielen verschiedenen Stellen des Bogens entsprechen.

Zu der Instabilität eines Bogens, wegen mangelnder Sicherheit gegen das *Gleiten,* kann sich auch die Instabilität wegen mangelnder Sicherheit gegen die *Drehung* gesellen. In einem solchen Falle vereinigt sich beim Einsturze des Gewölbes das Gleiten der Steine auf den Fugenflächen mit der Drehung um gewisse Kanten; auf eine Weise, die sich aus den vorhergehenden Untersuchungen leicht entnehmen läfst.

Aus den Untersuchungen über das Gleichgewicht eines gewölbten Bogens gegen die *Drehung* zeigte sich, dafs man es nicht in der Gewalt hat, die Form des Bogens oder die Richtung der Fugenschnitte so anzuordnen, dafs die wahre Mittellinie des Drucks sich überall in einem und demselben Abstande von der innern oder der äufsern Wölbungslinie halte; auch nicht, dafs die Curve überall durch die Mitte der Fugenschnitte gehe, indem sie bei vollkommen unprefsbarem Stoffe immer *einen* Punct mit der innern und *einen* Punct mit der äufsern Wölbungslinie gemein hat. Rücksichtlich der Drehung wird daher jeder Gewölbbogen nicht in allen Puncten denselben Grad von Stabilität, sondern immer schwächste und stärkste Stellen haben. Es fragt sich jedoch, ob es nicht möglich sei, das Gewölbe, unter Berücksichtigung der Bedingungen für das Gleichgewicht gegen das *Gleiten,* dergestalt zu formen, dafs die Richtungen der einzelnen Resultanten in allen Fugen einen und denselben Winkel mit den Normalen auf den Fugenflächen machen: dafs also in allen Fugen ein- und dasselbe Bestreben zum Gleiten vorhanden ist.

Das Letztere ist allerdings möglich. Denn wenn man in der Gleichung (2.) dem Winkel ψ irgend einen *a priori* bestimmten Werth giebt, so erhält man dadurch eine Beziehung zwischen den Gröfsen Q, P und α, die dazu dienen kann, dem Neigungswinkel α der Fuge für irgend einen Punct des Bogens seinen besondern Werth anzuweisen; je nachdem die Form und die Art der Belastung des Bogens gegeben ist. Es ist hierbei jedoch zu bemerken, dafs wenn die Richtung der Fugen nicht im Voraus als bekannt und unveränderlich ange-

nommen werden kann, wie im gegenwärtigen Falle, auch P keine für jeden Punct des Bogens unveränderliche, sondern vielmehr eine von α selbst abhängige Gröfse sein wird. Ja sogar der horizontale Schub Q ist eine Gröfse, welche von der Richtung der Fugen abhangt; wie die Untersuchungen über das Gleichgewicht gegen die Drehung es zeigten. In der Ausübung wird man übrigens zum Zwecke der vorliegenden Untersuchung die Veränderungen, welche die Gröfsen P und Q durch die möglichen Änderungen der Fugenrichtungen oder des Winkels α erleiden können, häufig unbeachtet lassen dürfen, sobald sie als geringfügig vorauszusehen sind. Wenn man, unter dieser Voraussetzung der Unabhängigkeit der Gröfsen P und Q von α, die Gleichung (2.) nach $\text{tang}\,\alpha$ auflöset, so erhält man

$$(5.) \qquad \text{tang}\,\alpha = \frac{\pm P - Q\,\text{tang}\,\psi}{P\,\text{tang}\,\psi \pm Q}.$$

In diesem Ausdruck der Tangente des Neigungswinkels einer Fuge in irgend einem Puncte des Bogens gegen die Verticale sind die obern oder die untern Zeichen zu nehmen, je nachdem verlangt wird, dafs sich die Resultanten, unter dem constanten Winkel ψ, von *oben* oder von *unten* gegen die Normalen auf den Fugenschnitten neigen sollen.

Für die Scheitelfuge, für welche $P = 0$ sein würde, müfste hiernach

$$\text{tang}\,\alpha = \pm\,\text{tang}\,\psi,$$

also

$$\alpha \text{ resp. } = 360 - \psi, \text{ oder } = \psi$$

sein.

Hieraus folgt, dafs wenn nicht $\psi = 0$ angenommen wird, die Scheitelfuge nicht vertical sein darf; und umgekehrt, dafs wenn die Scheitelfuge vertical sein soll, ψ nur $= 0$ gesetzt werden kann. Für den letzteren Fall, wo die Resultanten auf allen Fugenschnitten *normal* stehen sollen, oder für $\psi = 0$, reducirt sich die Gleichung (5.) auf

$$(6.) \qquad \text{tang}\,\alpha = \frac{P}{Q}.$$

Beispiel eines scheitrechten Gewölbes.

Handelte es sich z. B. um die Fugenrichtung eines scheitrechten Gewölbes $ABB'A'$ (Fig. 46.), welches überall eine gleiche verticale Dicke CD haben und nur sein eignes Gewicht tragen soll, so sei

a die halbe Spannweite AC;

c die Stärke CD des Bogens;
α der Neigungswinkel FGD irgend einer Fuge FE gegen die Normale;
α' dieser Winkel BHD für die Endfuge;
x der horizontale Abstand CE;
z der verticale Abstand CG;
h der verticale Abstand CH;
w das Gewicht der Cubik-Einheit des Wölbsteinstoffes.

Welches auch die gesetzmäfsig, oder ungesetzmäfsig, von DC bis BA sich verändernde Richtung der Fugenschnitte FE sein möge: so viel leuchtet bei näherer Betrachtung des halben Bogens $DCAB$ ein, dafs, wenn man eine Mittellinie des Drucks zeichnet, die durch die beiden Puncte D und A geht, diese Linie niemals die äufsere Wölbungslinie DB in einem andern Puncte als D treffen kann, sobald nur keine Fuge mit der Verticalen DH einen Winkel FGD einschliefst, der gröfser als 90 Grad ist; was an sich unmöglich sein würde. Demnach wird die Mittellinie des Drucks DA entweder:

Erstlich, ganz in der Masse des Bogens liegen, wie die DLA, und mithin die in der Wirklichkeit existirende sein, so dafs der vorliegende Bogen dem bei dem Gleichgewichte gegen die Drehung unter No. 1 behandelten Falle angehört: oder dieselbe wird.

Zweitens, die innere Wölbungslinie CA irgendwo schneiden; wie die DLA (Fig. 47). Alsdann wird die wahre Mittellinie des Drucks eine Form wie die DMI annehmen, welche durch den Punct D geht, die innere Wölbungslinie in M *berührt* und die Widerlagsfläche AB in einem Puncte I zwischen A und B durchschneidet. Der letztere Umstand, welcher sich übrigens nur dann ereignen kann, wenn die *Steilheit* der Fugen von der letzten BA gegen den Scheitel DC in einem ungemein starken Verhältnisse zunimmt, oder der Neigungswinkel α in der Nähe des Bogen-Anfanges gegen die Mitte hin äufserst schnell abnimmt, oder wenn der Schwerpunct des halben Bogens $DCAB$ links vom Puncte A liegt, (vergl. die desfallsige frühere Untersuchung) entspricht dem bei dem Gleichgewichte gegen die Drehung in No. 2 abgehandelten Falle.

Abstrahirt man von dem letzteren, in der Praxis nicht leicht vorkommenden Falle, so wird man, wenn der Wölbsteinstoff fähig ist, jeden Grad von *Reibung* zu ertragen, die Fugenrichtung willkürlich annehmen können, ohne dafs die wahre Mittellinie des Drucks durch die beiden Puncte D und A zu gehen aufhörte. Der horizontale Schub Q im Scheitel wird also bei dieser

Voraussetzung so klein sein, als nur möglich ist, um die gegen die feste Fläche AB sich stützende Masse $DCAB$ aufrecht zu erhalten.

Sofern jedoch der Wölbsteinstoff nicht im Stande wäre, dasjenige Maximum von Reibung zu ertragen, welches sich in einer, oder in einigen der willkürlich angenommenen Fugen einstellen möchte, ist, zufolge der Untersuchungen über das Gleichgewicht gegen die *Gleitung*, zuvörderst zu bemerken, dafs wenn diese Reibung in irgend einer Fuge ein Bestreben zum Ausgleiten *nach oben* hervorbrächte, das Gleichgewicht überall unmöglich sein würde, weil durch eine etwaige *Vermehrung* des horizontalen Schubes Q (welcher eine *Verminderung* unter diesen Umständen nicht zuläfst) das Bestreben zum Ausgleiten nach oben nur noch vergröfsert werden würde.

Fände jedoch ein Bestreben zum Gleiten *nach unten* in irgend einer Fuge Statt, welches durch die Reibungsfähigkeit des Stoffes nicht vernichtet werden könnte, so würde dies zur Folge haben, dafs sich der horizontale Schub Q so viel als nöthig verstärkte. Die Mittellinie des Drucks würde alsdann, wie in Obigem nachgewiesen, eine unbestimmte Lage annehmen, indem sie entweder (Fig. 48) durch den Punct D und einen zwischen A und B liegenden Punct A_1, wie DA_1, oder durch den Punct A und einen zwischen D und C liegenden Punct D_1, wie D_1A, ginge, oder eine zwischen DA_1 und D_1A liegende Figur annähme. Der Werth des Schubes Q ergäbe sich in diesem Falle nicht aus den Bedingungen für das Gleichgewicht gegen die Drehung, sondern aus denen für das Gleichgewicht gegen das Gleiten. Übrigens sieht man, dafs das Gleichgewicht gegen das Ausgleiten der Wölbsteine *nach unten* jedenfalls gesichert ist, da der Schub Q nöthigenfalls einen unendlich grofsen Werth annehmen kann, indem alsdann die beiden Endpuncte D und A_1, oder D_1 und A, der Mittellinie des Drucks in eine und dieselbe horizontale Linie zu liegen kommen würden. Bei einer *willkürlichen* Anordnung der Richtung der Fugen würde es jedoch häufig unausbleiblich sein, dafs dieser Werth von Q, welcher mindestens erforderlich ist, um das Gleiten *nach unten* zu verhindern, irgendwo ein Gleiten *nach oben* herbeiführte; und es folgt, dafs, wenn *beide* eben genannte Bewegungen verhütet werden sollen, die Fugenrichtungen gewisse Gränzen der Steilheit und der Flachheit, welche von der Reibungsfähigkeit des Wölbsteinstoffes abhängig sind, nicht überschreiten dürfen.

Verlangt man jetzt, dafs die Fugenschnitte in dem scheitrechten Gewölbe so geordnet werden sollen, dafs die Pressungen in denselben überall normal auf den Fugenflächen stehen, so ist das Gewicht P irgend eines Ge-

wölbtheiles wie $DCEF$ (Fig. 46), welcher zwischen der Scheitelfuge DC und einer beliebigen andern Fuge FE liegt:

$$P = w(xc + \tfrac{1}{2}c^2 \operatorname{tang}\alpha) = \tfrac{1}{2}wc(2x + c\operatorname{tang}\alpha)$$

und eben so das Gewicht P' des ganzen Halbbogens $DCAB$:

$$P' = w(ac + \tfrac{1}{2}c^2 \operatorname{tang}\alpha') = \tfrac{1}{2}wc(2a + c\operatorname{tang}\alpha').$$

Nach (6.) mufs zur Realisirung der obigen Bedingung

$$\operatorname{tang}\alpha = \frac{P}{Q}, \text{ mithin auch } \operatorname{tang}\alpha' = \frac{P'}{Q}$$

und demnach

$$\frac{\operatorname{tang}\alpha}{\operatorname{tang}\alpha'} = \frac{P}{P'} = \frac{2x + c\operatorname{tang}\alpha}{2a + c\operatorname{tang}\alpha'}$$

sein.

Setzt man hierin statt $\operatorname{tang}\alpha$ seinen Werth $\frac{x}{z}$ und statt $\operatorname{tang}\alpha'$ den Werth $\frac{a}{h}$, so ergiebt sich

$$\frac{xh}{za} = \frac{2x + \frac{cx}{z}}{2a + \frac{ca}{h}},$$

und hieraus folgt

$$z = h.$$

Es zeigt sich also, dafs, welches auch der Werth des horizontalen Schubes Q sein möge, sämmtliche Fugenrichtungen nach einem und demselben Puncte H in der Verticalen DH convergiren müssen, wenn die Pressungen überall normal auf den Fugenflächen stehen sollen.

Rücksichtlich des Werths des horizontalen Schubes Q, so wie des Abstandes $CH = h$ des Mittelpuncts der Fugenrichtungen vom Puncte C, ist zu erwägen, dafs wenn der Wölbsteinstoff hinlänglich rauh ist, um jeden Grad von Reibung auszuhalten, die Mittellinie des Drucks nur durch die beiden Puncte D und A gehen kann; so dafs Q die kleinste Kraft ist, welche den halben Bogen $DCAB$ im Gleichgewichte zu halten vermag.

Unter dieser Annahme ist, wenn $p'P'$ das Moment der Masse $DCAB$ in Beziehung auf den Punct A ausdrückt, während cQ das Moment der Kraft Q in Beziehung zu demselben Puncte A bezeichnet:

$$cQ = p'P', \text{ also } Q = \frac{p'P'}{c}.$$

Es ist aber für das Moment $p'P'$:

$$p'P' = w(\tfrac{1}{2}a^2c - \tfrac{1}{6}c^3\tang^2\alpha'),$$

mithin

$$Q = \tfrac{1}{6}w(3a^2 - c^2\tang^2\alpha'),$$

und daher, weil $\tang\alpha' = \frac{P'}{Q}$ sein mufs und $P' = \frac{1}{2}wc(2a + \tang\alpha')$ ist:

$$\tang\alpha' = \frac{3c(2a + c\tang\alpha')}{3a^2 - c^2\tang^2\alpha'};$$

was nach gehöriger Reduction

$$\tang^3\alpha' - 3\left[\left(\frac{a}{c}\right)^2 - 1\right]\tang\alpha' = -6\cdot\frac{a}{c},$$

oder, da $\tang\alpha' = \frac{a}{h}$ ist,

$$\left(\frac{a}{h}\right)^3 - 3\left[\left(\frac{a}{c}\right)^2 - 1\right]\frac{a}{h} = -6\cdot\frac{a}{c}$$

giebt.

Durch Auflösung dieser cubischen Gleichung nach $\tang\alpha'$ oder $\left(\frac{a}{h}\right)$, findet man in der positiven reellen Wurzel den Werth dieser Gröfse für die Ausübung, und mithin leicht den gesuchten Werth des Abstandes $CH = h$. Nachdem die Gröfse und dadurch die Form des halben Bogens $DCAB$ ermittelt ist, giebt die fernere Substitution derselben in den obigen Ausdruck für Q den Werth des horizontalen Schubes.

Gäbe man dem Neigungswinkel der Endfuge BA einen andern als den aus der vorstehenden Gleichung folgenden Werth, so würde, selbst wenn man alle übrigen Fugen nach demselben Puncte H convergiren liefse, bei einem hinlänglich rauhen Wölbsteinstoffe durchaus nicht die Bedingung erfüllt werden, dafs die Pressungen auf allen Fugen normal stehen sollen. Der horizontale Schub Q würde vielmehr, indem die Mittellinie des Drucks stets durch die beiden Puncte D und A ginge, den möglich-kleinsten Betrag

$$\tfrac{1}{6}w(3a^2 - c^2\tang^2\alpha')$$

bekommen, und die Pressungen würden sich unter Winkeln ψ gegen die Normalen der Fugenschnitte neigen, welche nach der allgemeinen Gleichung (2.) zu ermitteln wären. Erst dann würde mit einer willkürlichen Annahme der Gröfse h oder α' eine Veränderung der beiden Endpuncte der Mittellinie des Drucks und mithin eine entsprechende aus dem Gleichgewichte gegen die *Gleitung* und nicht aus dem Gleichgewichte gegen die *Drehung* zu entneh-

mende Veränderung des horizontalen Schubes Q verbunden sein, wenn der Wölbsteinstoff wegen verminderter Reibungsfähigkeit nicht im Stande sein sollte, den gröfsten Werth der ebengenannten Winkel ψ zu ertragen, und es darauf ankäme, irgendwo ein Gleiten *nach unten* zu vernichten.

Nimmt man daher an, der Wölbsteinstoff sei völlig glatt, könne also gar keine Reibung erzeugen, so dafs die Pressungen auf allen Fugenflächen nothwendig normal stehen müssen, und sieht man den Neigungswinkel $BHD=\alpha'$ der letzten Fuge gegen die Normale als im Voraus gegeben an: so folgt aus der Gleichung

$$\operatorname{tang}\alpha' = \frac{P'}{Q} = \frac{\frac{1}{2}wc(2a+c\operatorname{tang}\alpha')}{Q},$$

welche wegen des Gleichgewichts gegen die *Gleitung* stets zu realisiren ist:

$$Q = \tfrac{1}{2}wc\cdot\frac{2a+c\operatorname{tang}\alpha'}{\operatorname{tang}\alpha'}.$$

Der *kleinste* Werth des horizontalen Schubes, welcher aus den Bedingungen des Gleichgewichts gegen die *Drehung* folgt, und erzeugt werden mufs, damit keine Drehung um gewisse Kanten der Wölbsteine eintrete: ein Werth, welcher dem Durchgange der Mittellinie des Drucks durch die beiden Puncte D und A entspricht und welchen wir, zum Unterschiede von dem vorhergehenden, mit Q_1 bezeichnen wollen, ist aber nach dem Obigen:

$$Q_1 = \tfrac{1}{6}w(3a^2 - c^2\operatorname{tang}^2\alpha').$$

Wäre nun $Q > Q_1$ oder

$$\tfrac{1}{2}wc\cdot\frac{2a+c\operatorname{tang}\alpha'}{\operatorname{tang}\alpha'} < \tfrac{1}{6}w(3a^2 - c^2\operatorname{tang}^2\alpha'),$$

woraus

$$6\cdot\frac{a}{c} < 3\left[\left(\frac{a}{c}\right)^2 - 1\right]\operatorname{tang}\alpha' - \operatorname{tang}^3\alpha'$$

oder

$$6\cdot\frac{a}{c} < 3\left[\left(\frac{a}{c}\right)^2 - 1\right]\frac{a}{h} - \left(\frac{a}{h}\right)^3$$

folgt: so würde gefordert werden, dafs der horizontale Schub, des Gleitens wegen, kleiner sei, als der möglich-kleinste horizontale Schub wegen der Drehung; was nur zu erreichen sein würde, wenn sich der Angriffpunct dieses Schubes über D hinaus rücken liefse. Da Dies nicht angeht, so folgt, dafs, wenn die vorstehende Ungleichheit obwaltet, das Gleichgewicht des aus völlig glatten Wölbsteinen bestehenden Bogens nicht möglich ist. Der wahre Schub wird durch den höchsten Punct D des Scheitels gehen und gleich Q_1 sein;

so dafs das Gleichgewicht gegen die Drehung gesichert ist und auch kein Gleiten *nach unten* erfolgen kann. Dagegen wird in allen Fugen, für welche $Q_1 > \frac{P}{\tang \alpha}$ oder $\tang \alpha > \frac{P}{Q_1}$ ist, und welche nothwendig bei der Endfuge BA beginnen und gegen den Scheitel hin aufeinander folgen werden, ein Gleiten *nach oben* eintreten, in Folge dessen der Bogen zusammenbricht.

Fände sich dagegen $Q > Q_1$, also

$$6 \cdot \frac{a}{c} > 3\left[\left(\frac{a}{c}\right)^2 - 1\right] \tang \alpha' - \tang^3 \alpha',$$

oder

$$6 \cdot \frac{a}{c} > 3\left[\left(\frac{a}{c}\right)^2 - 1\right] \frac{a}{h} - \left(\frac{a}{h}\right)^3,$$

so dafs der horizontale Schub wegen des Gleitens gröfser sein müfste, als der möglich-kleinste Schub wegen der Drehung: so würde allerdings ein Gleichgewicht in jeder Hinsicht bestehen, indem der wahre horizontale Schub den Werth Q annähme. Die Mittellinie des Drucks würde alsdann aber nicht durch die beiden Puncte D und A gehen können, sondern, wie in (Fig. 48), nur entweder durch D und einen zwischen A und B liegenden Punct A_1, oder durch A und einen zwischen D und C liegenden Punct D_1, oder endlich durch einen zwischen D und D_1 und einen zwischen A und A_1 liegenden Punct. Der verticale Abstand der beiden Endpuncte dieser Mittellinie des Drucks findet sich, nachdem der eine Endpunct, z. B. der in der Fläche AB liegende, angenommen ist, durch die Bedingung, dafs das Moment des halben Bogens $DCAB$, in Beziehung zu dem letzteren Puncte, gleich sei dem Momente der horizontalen Kraft $Q = \frac{1}{2} wc \cdot \frac{2a + c \tang \alpha'}{\tang \alpha'}$, in Beziehung zu demselben Puncte.

(Die Fortsetzung folgt.)

14.

Über Leuchtthürme.

(Nach englischen, französischen und deutschen Quellen bearbeitet vom Herrn Ingenieur *A. Hefs* zu Göttingen.)

(Fortsetzung der Abhandlung No. 4. im ersten, No. 5. im zweiten und No. 7. im dritten Hefte dieses Bandes.)

Der Leuchtthurm auf dem Skerryvore Felsen.

(Nach dem „Account of the *Skerryvore* Lighthouse, by *Alan Stevenson*. Edinburgh 1848.)

Die Errichtung eines Leuchtthurms auf dem *Skerryvore* Felsen, an der Westseite von Schottland, wurde, obgleich schon 1814 eine Parlamentsacte dazu eingeholt war, längere Zeit hinausgeschoben, indem man, selbst nach der Vollendung des Leuchtthurms von *Bell-Rock*, die Unsicherheit des Erfolges und die bedeutenden Kosten eines Baues auf diesem einsamen, den Wogen des Atlantischen Oceans ausgesetzten Felsen fürchtete. *Robert Stevenson* besichtigte den *Skerryvore Rock* zuerst auf einer amtlichen Reise im Jahre 1804, und späterhin im Jahre 1814 noch einmal, in Gesellschaft *Walter Scott's;* doch erst 20 Jahre später liefs die Gesellschaft für Schottische Leuchtfeuer, welche sich schon 1786 gebildet hatte, diese Klippen, so wie die Insel *Tyree*, genauer untersuchen. Den stärksten Beweis, wie nothwendig ein Leuchtfeuer auf dem *Skerryvore* war, giebt die Anzahl der Fahrzeuge, welche an diesen Klippen und an den Ufern der Insel *Tyree* verunglückten. Von 1790 bis 1844 strandeten dort 31 Schiffe; meistens wurde nur die Mannschaft, oft aber auch diese nicht gerettet. Da die von den Sturmfluthen überströmten Felsen keine Strandgüter aufnehmen können, so ist es wahrscheinlich, dafs noch manches Schiff hier strandete, welches später zu den verschollenen gezählt wurde.

Die *Skerryvore* Klippen ziehen sich von der Insel *Tyree* südwestlich hin. Zwischen dem nächsten Felsen, *Boinshly* genannt, und der Insel, bleibt ein Raum. Die Durchfahrt von *Tyree*, 5 Seemeilen breit, ist 13 Klafter beim eindringenden Wasser der Springfluthen tief; indessen ist die Passage bei anhaltenden und starken Winden nicht sicher. Die übrigen Felsen der Gruppe heifsen *Bo-rhua, Skerryvore*, und die mehr westlich liegenden *Mackenzie, Fresnel* und *Stevenson*. Der Felsen *Boinshly* liegt $3\frac{3}{4}$ Seemeilen vom

Skerryvore; die Wellen brechen sich dort heftig, und bei stürmischem Wetter steigt das Wasser, einem ungeheuern Springbrunnen ähnlich, über die Klippen auf. Der *Bo-rhua* Felsen liegt $2\frac{3}{4}$ Seemeilen vom *Boinshly* und eine Seemeile vom *Skerryvore.* Die Passage zwischen den ersten beiden ist nicht unterbrochen, und 14 Klafter tief; doch ist sie zu eng, um ohne Gefahr zu sein; nur während der Ebbe ist der *Bo-rhua* sichtbar, und zwar zeigt er sich bei der Springfluth-Ebbe, in einer Fläche von 40 F. breit und 20 F. lang, unbedeckt; sein höchster Punct liegt dann 6 F. über dem Meeresspiegel. Die Umgebung ist nicht, wie beim *Boinshly,* flach, sondern die Tiefe nimmt, 50 F. entfernt, schon bis auf 7 Klafter zu. Der bedeutendste Felsen, auf welchem allein die Errichtung eines Leuchtthurms möglich war, ist der *Skerryvore* selbst. Er ist schon ziemlich zerstört, von einer Menge Felsblöcken umgeben und liegt unter 56 Gr. 19 Min. 22 Sec. nördl. Breite und 7 Gr. 6. Min. 32 Sec. west. Länge, 11 Seemeilen; WSW $\frac{1}{4}$ W. von der Insel *Tyree,* 20 Seemeilen WNW $\frac{1}{4}$ N. von der Insel *Jona,* 33 Seemeilen S $\frac{1}{4}$ O. von dem Leuchtthurm auf *Barrahead,* der südlichsten der *Hebriden,* und 50 Seemeilen von dem nächsten Puncte des Festlandes von *Schottland.* Die von breiten Spalten durchschnittene Oberfläche des Felsens hat bei der niedrigsten Ebbe die Gestalt eines Quadrats von 280 F. Seite; die nicht coupirte Fläche ist nur 160 F. lang und 70 F. breit. Eine der Spalten an der Südostseite des Felsens wurde als Landungsplatz benutzt. Nicht weit von dieser Stelle befand sich eine 8 bis 10 F. tiefe Höhle, welche, in eine Kammer von etwa 7 F. im Durchmesser endigend, das Wasser, besonders bei stürmischem Wetter, hoch hinauftrieb; die beständige Reibung zwischen den von den Wellen aufgenommenen Kieseln und dem Felsen selbst hat die Höhle gebildet und sie im Innern sauber geglättet. Um die weitere Unterhöhlung zu verhindern und der Unannehmlichkeit des auf den Felsen geschleuderten Wassers zu entgehen, füllte man später die Höhle aus. Der gröfste Theil des Felsens liegt 6 F. hoch über der gewöhnlichen Fluth. Der Felsen besteht aus syenitischem Gneis und ist von den Wellen so abgerundet und aller Vorsprünge beraubt, dafs sich, besonders beim Beginn der Arbeiten, grofse Beschwerlichkeiten fanden. Die Schichten der Felsart werden von einem Trapgange durchsetzt. Drei Seemeilen westlich vom *Skerryvore* liegen die *Mackenzie-, Fresnel-* und *Stevenson*-Felsen, welche durch untermeerische, $1\frac{1}{4}$ Seemeile lange Klippen verbunden sind. Die Passage zwischen denselben und dem *Skerryvore* ist frei und 11 bis 28 Klafter tief. Der *Mackenzie*-Felsen ist bei der Ebbe

auf etwa 116 F. sichtbar; die andern beiden, nach dem berühmten *Fresnel* und nach *Robert Stevenson* benannt, sind beständig unter Wasser, erregen aber bei hoher See oft die heftigste Brandung. Die höchsten Fluthen steigen hier 12 bis 13 F. hoch, die niedrigsten 3 F. hoch. Die Geschwindigkeit der Fluth beträgt während der Springfluthen 4 bis 5 Seemeilen, sonst nur 2 bis 3 Seemeilen in der Stunde.

Die Vorarbeiten wurden, wie schon gesagt, im Jahre 1834 begonnen, und zwar mit der Messung einer Grundlinie auf der Insel *Tyree* und mit trigonometrischer Ausmittelung der Lage einzelner Felsen. Zur Messung der Tiefen war eine besondere Triangulation nöthig, da die Gegenstände auf dem Lande zu weit dazu entfernt waren. Es versteht sich, dafs man dieselbe mit den Hauptpuncten verband und auf sie stützte. Es wurden Wahrtonnen an geeigneten Puncten zwischen dem Ufer und dem *Skerryvore* Felsen befestigt und so über die ganze Klippenreihe ein Netz von Dreiecken gelegt. Die Verbindungslinien der einzelnen Tonnen wurden als die Basen von Dreiecken betrachtet, zu welchen die Orte der Messung der Tiefen in der Nähe die Spitzen bildeten. Die Winkel an der Basis wurden mit einem Sextanten gemessen. In Verbindung mit der Messung der Tiefen wurde sechs Wochen lang die Ebbe und Fluth genau beobachtet, um die gemessenen Tiefen auf einen gemeinschaftlichen Horizont reduciren zu können. Es fand sich auch bei diesen Beobachtungen die schon von *Robert Stevenson* 1830 bemerkte Thatsache, dafs die Mitte jeder Fluth und Ebbe immer in derselben Horizontale bleibt. In dem Laufe dieser Zeit maafs man die Lage von 140 Felsen, und 500 Tiefen.

Zum Baustoff erwählte man den auf der Insel *Tyree* bei *Hynish* anstehenden Gneis. Dort legte man auch den Werkplatz an, weil sich dort die einzige passende Bucht, mit einer freien Aussicht nach dem *Skerryvore,* befindet. Der Herzog von *Argyle,* dem die Insel *Tyree* (im Jahre 1841 4687 Einwohner zählend) gehört, gestattete der Gesellschaft, nach Belieben Steine zu brechen, und im Sommer 1836 und 1837 wurden 15 Arbeiter beschäftigt, Brüche aufzuthun. Bis zum Herbst 1837 wurden 3800 Cubikfufs Steine gefördert; was als das Mögliche zu betrachten ist, wenn man die Schwierigkeiten der Abräumung neuer Brüche, die Härte der von vielen Spalten durchsetzten Felsart und die bedeutende Gröfse der Blöcke berücksichtigt. Im December 1837 wurde *Alan Stevenson* mit der Ausführung des Leuchtthurms auf dem *Skerryvore* Felsen beauftragt.

Schon für das verbesserte Beleuchtungssystem überhaupt sind *höhere* Thürme zu wünschen. Hier war eine bedeutende Höhe des Leuchtthurms von *Skerryvore* um so mehr nöthig, da die äufsersten Klippen noch drei Seemeilen seewärts liegen. Man nahm daher 150 F., von der Springfluthhöhe an bis zum Feuer, zur Höhe des Thurmes an; so dafs eine Fläche von nicht ganz vier Deutschen Meilen im Halbmesser beleuchtet werden konnte. Nach sorgfältiger Überlegung und Berücksichtigung des schwierigen Landes auf dem Felsen, setzte *Stevenson* 13 000 Cubikfufs für die innern Räume fest. Der Leuchtthurm auf dem *Edystone* hat in der Springfluthhöhe einen Radius, welcher dem fünften Theil der Höhe des Thurms von diesem Puncte aus gleich ist; der *Bell-Rock* Leuchtthurm hat in derselben Höhe Einsiebentel der Thurmhöhe zum Radius. Verlängert man den Mantel des *Edystone* Leuchtthurms bis zum niedrigen Wasser, so würde der Radius in diesem Puncte Einviertel der Höhe des Thurms vom niedrigen Wasser an sein, während in diesem Horizont der *Bell-Rock* Leuchtthurm Einfünftel der Thurmhöhe zum Radius hat. In Berücksichtigung dieser Verhältnisse gab man dem *Skerryvore* Leuchtthurm, von 138½ F. bis zur Laterne hoch, 4 F. hoch über der Fluth, 21 F. Halbmesser. Dem innern Raume gab man 12 F. Durchmesser; wodurch denn die Höhe des massiven Theils auf 26 F. gesetzt wurde, da 13 000 Cubikfufs für den lichten Inhalt des Thurms angenommen waren. Die Mauer an dem 18 F. unter der obern Fläche angebrachten Gurt wurde 2 F. dick angesetzt: sowohl, damit sie hinreichend fest sei, als auch, um durch die gröfsere Länge der radialen Fugen das Eindringen des von den Stürmen heftig gegen die Mauer geschleuderten Wassers zu verhindern.

Durch diese Bestimmungen waren zwei Aufsenpuncte des Thurms gegeben: die horizontale Entfernung derselben, zu 13 F., die verticale zu 120¼ F., und es handelte sich nur noch darum, die zweckmäfsigste Curve zur Verbindung der beiden Puncte zu finden. *Stevenson* zeichnete mit grofser Sorgfalt Parabel, logarithmische Linie, Conchoïde und Hyperbel als Verbindungslinien und suchte den Schwerpunct der durch die Umdrehung entstehenden Fläche zwischen Axe und Curve. Die logarithmische Linie näherte sich zu sehr dem Kegel, als dafs sie brauchbar gewesen wäre; der untere massive Theil würde zu breit geworden sein: die Parabel gefiel *Stevenson* nicht, weil der Übergang an der Grundlinie zu schroff war: es blieben also noch die Conchoïde und die Hyperbel übrig. Sie fielen fast ineinander; die letztere wurde aber gewählt, da sie, wie die folgende Tafel zeigt, noch um etwas besser ist. Der Mantel

des Thurms wird also von einer um ihre Asymptote, als verticale Axe, sich drehenden *gleichseitigen Hyperbel* gebildet.

Für die folgende Tabelle, aus welcher sich die Vorzüge der Hyperbel näher zeigen, sind die Zahlen der letzten Spalte in der Voraussetzung berechnet, dafs für eine gegebene Höhe und einen gegebenen obern und untern Durchmesser des Thurms, der ökonomische Vortheil umgekehrt der Masse und der Höhe des Schwerpuncts über der Basis proportional, also $= \frac{1}{MG}$ sein soll. Ist nun $\frac{1}{M'G'}$ der ökonomische Vortheil eines andern Thurms, so ist sein Vortheil, mit dem des ersten verglichen, $= \frac{GM}{G_iM_i}$.

Benennung der Curve	Höhe H des Thurms	Durchmesser unten	Durchmesser oben	Volumen M des massiven Thurms	Entfernung G des Schwerpuncts von der Basis	$\frac{H}{G}$	Ökonomischer Vortheil $\frac{GM}{G_iM_i}$
	Fuss	Fuss	Fuss	Cubikfuss	Fuss		
Hyperbel . .	120	42	16	62915	41,227	2,911	1,00000
Conchoïde . .	120	42	16	62984	41,336	2,903	0,99627
Parabel . . .	120	42	16	63605	43,400	2,765	0,93963
Logarithmische Linie . . .	120	42	16	74742	42,460	2,826	0,81608
Kegel . . .	120	42	16	84737	43,280	2,773	0,70725

Die Ordinaten der Hyperbel wurden bis auf drei Decimalstellen berechnet, und zwar für jeden Fufs Länge der Axe. Bekanntlich ist die Fläche des Parallelogramms unter den Coordinaten irgend eines Puncts der Hyperbel, mit den Asymptoten parallel, eine *beständige* Gröfse. Nennt man die Coordinaten des Fufspuncts der Hyperbel, in welchem die Curve die Grundfläche schneidet, x_i und y_i, wo im vorliegenden Falle $y_i =$ dem untern Radius $= 21$ F. ist, und die Coordinaten des obern Puncts x_{ii} und y_{ii}, wo $y_{ii} =$ dem obern Radius $= 8$ F. und $x_{ii} = x_i + 120{,}25$ F. ist, so hat man die Gleichung $x_iy_i = x_{ii}y_{ii}$, also

$$21x_i = 8(x_i + 120{,}25) \text{ und}$$

$$x_i = 74;$$

mithin ist $x_iy_i = 74 . 21 = 1554$. Verlegt man nun den Anfangspunct in die Grundfläche des Thurms, so mufs, wenn x und y die Coordinaten eines beliebigen Puncts der Curve sind, $x - x_i = x - 74$ statt x gesetzt werden. Dies giebt die Gleichung

$$y = \frac{1554}{x - 74}.$$

Vergleicht man die drei Leuchtthürme auf dem *Edystone, Bell-Rock* und *Skerryvore,* so findet sich, dafs der letztere, bedeutend näher als die beiden andern, die Gestalt eines Kegels bekommen hat. Es geschah dies aus zwei Gründen. Die Mauer in dem obern Theile des Thurms wurde stärker angeordnet, als in den beiden andern Thürmen; was bei gleicher Basis eine Annäherung an die Kegelform zur Folge haben mufste: dann aber war es *Stevenson's* Absicht, die Steine der untern Lagen, welche vorzüglich den Wogen ausgesetzt sind, besonders durch einen Druck von oben zu befestigen; was um so vollkommner geschieht, je mehr sich die Form des Thurms der eines Kegels nähert.

Wegen der Gefahr des Ankerns in der Nähe des *Skerryvore* Felsens fand *Stevenson* die Errichtung eines interimistischen Wohnhauses für die auf dem Felsen beschäftigten Arbeiter nöthig. Er hielt ein solches Haus zu einem günstigen Erfolg für unumgänglich nothwendig, und wurde in dieser Meinung noch während der Arbeiten im ersten Jahre durch die tägliche Gefahr und den Verlust an Zeit beim Landen bestärkt. Dieser temporäre Bau wurde dem oben beim *Bell-Rock* gedachten ähnlich angeordnet. Man liefs ein ganzes Sortiment Steinbrecher- und Maurerwerkzeuge, so wie Krahne, Anker u. s. w. nach genauen Beschreibungen und Zeichnungen verfertigen, und diese Vorarbeiten nahmen den ersten Theil des Jahres 1838 hinweg.

Wegen der Ausdehnung der Untiefen um den *Skerryvore,* und wegen des Mangels guter Häfen in der Umgegend, war vorauszusehen, dafs die Landung von 6000 Tonnen Baustoffe mit Segelschiffen nicht so sicher und regelmäfsig möglich sein werde, wie es zu wünschen war, um die kurze Arbeitszeit in dem rauhen Clima der westlichen *Hebriden* gut benutzen zu können. Man suchte daher in den Häfen des Königreichs ein geeignetes Dampfschiff zu kaufen. Da aber die angebotenen Schiffe nicht die passenden Maafse hatten, so entschlofs man sich, ein Dampfschiff von 150 Tonnen, mit zwei Maschinen, jede von 30 Pferden Kraft, bauen zu lassen. Die Benutzung eines Dampfschiffs bei der Errichtung des Nothhauses würde freilich die Arbeit sehr erleichtert haben, indessen hatte auch der Gebrauch des *Pharos,* eines Schiffs von 36 Tonnen, den Nutzen, dafs man dadurch die Schwierigkeiten und Gefahren näher kennen lernte und sich auf die Hindernisse beim späteren Bau besser vorbereiten konnte.

Da vorauszusehen war, dafs bei der Errichtung der Baracke Maurer nöthig sein würden, auch die Bearbeitung der Werkstücke im nächsten Sommer

beginnen sollte, so liefs *Stevenson* in *Aberdeen* 30 Maurer und Steinhauer, 12 Steinbrecher und einige Schmiede auf zwei Jahr anwerben. Die Bedingungen waren folgende: die Löhnung sollte von der in *Aberdeen* bezahlten abhangen, aber für die Zeit vom 1. Februar bis 31. October in keinem Falle 1 Thlr. 6 Ggr. 8 Pf. für den Maurer und 20 Ggr. für den Steinbrecher, und für die Zeit vom 1. November bis 31. Januar 1 Thlr. für den Maurer und 16 Ggr. für den Steinbrecher übersteigen. Die Auszahlung sollte monatlich geschehen, nachdem die Summe, welche den Familien oder bedürftigen Verwandten der Arbeiter auf den Wunsch der letzteren ausgezahlt worden, abgezogen war. In der Nähe der Werkplätze wurde ein Vorrathsraum eingerichtet; die Waaren wurden den Arbeitern zu den Einkaufspreisen überlassen; für Schuppen zur Wohnung und für Feuerungs-Einrichtungen verpflichtete sich der Bauherr zu sorgen.

Am 5. Mai besuchte *Stevenson* den Werkplatz zu *Greenock*, wo die einzelnen Theile der auf den Felsen zu setzenden Baracke gezimmert wurden. Sie waren, bis auf einige eisernen Bänder, die zur bessern Befestigung des kleinen Thurms später dienen sollten, zum Einschiffen fertig; Werkzeuge für die Maurer und Steinbrecher lagen bereit; zwei kleine tragbare Schmieden wurden für den Gebrauch auf dem Felsen eingerichtet, und ein Schiff, der Herzog von *Montrose* genannt, wurde bestimmt, Kohlen nach *Tyree* zu schaffen. Durch mehrere, erst jetzt sich herausstellende Bedürfnisse wurde die Abfahrt mit den zum Beginn der Arbeiten nöthigen Dingen bis zum 23. Juni verzögert. Auf *Tyree* fand man schon das Mauerwerk einer Reihe von Gebäuden für Vorräthe und zur Wohnung für mehr als 100 Arbeiter vollendet; der Landungsdamm war auf hundert Fufs lang, fast bis zur Höhe des niedrigen Wassers aufgeführt; ein Pulvermagazin war angelegt; der vom Herzog von *Argyle* der Gesellschaft als Lehen abgetretene Grund und Boden wurde eingezäunt und ein Garten zum Gebrauch der Arbeiter eingerichtet.

Am 25. Juni, um fünf Uhr Morgens, segelte *Stevenson* mit dem Obmann des Werkplatzes und zwei Maurern nach dem Felsen, wo er jedoch wegen des ungünstigen Windes erst am folgenden Morgen anlangte. Man legte in einiger Entfernung, SSO. vom Felsen, das Fahrzeug fest und versuchte dann die Landung. Die Wellen gingen aber so hoch, dafs man sich dem *Skerryvore* nicht nähern konnte; man mufste mit dem Boote zurückkehren und segelte nun nach der Insel *Mull*, wo man in *Loch-Loich* um zehn Uhr Abends Anker warf. Den Morgen des folgenden Tages benutzte *Stevenson* zu einer

sorgfältigen Untersuchung der Granitfelsen des Districts *Ross of Mull;* denn die Erfahrung von 15 Monaten hatte gezeigt, dafs die Steinbrüche von *Tyree* unzureichend sein würden. Er fand einen fleischrothen Granit, der zwar nicht sehr hart, aber von sehr gleichartiger Masse war. Es wurde ferner die Umgegend durchsucht, um einen passenden Platz zur Eröffnung der Steinbrüche, zur Verschiffung der Steine und zu Wohnungen der Arbeiter zu finden. Am Nachmittag schiffte man sich abermals ein, erreichte aber erst am folgenden Morgen die Ankerstelle. Gegen Mittag wurde die See etwas ruhiger; man setzte das Boot aus, und es gelang nun *Stevenson*, auf dem Felsen zu landen. Einige Arbeiter wurden ebenfalls herbeigeführt und man beschäftigte sich fast vier Stunden lang damit, die Lage des Leuchtthurms und der Baracke auf dem Felsen zu markiren; so wie die Stellen, wo Hebzeuge, Ringe zur Befestigung der Seile u. s. w. anzubringen wären.

Am 30. Juni segelte *Stevenson* nach *Greenock* und *Glasgow*, um die Einschiffung der dort verfertigten Apparate und Maschinen, als Krahne, Winden, Boote, Anker u. s. w. zu betreiben. Bis zum 30. Juli wurde die Rückreise verzögert und aufgehalten; durch ungünstiges Wetter kam der schwerbeladene *Pharos* erst am 4. August in *Hynish* an.

Am 7. August nahm man verschiedene Geräthschaften, Hebezeuge u. s. w., so wie 4 Zimmerleute, 16 Maurer und Steinbrecher und einen Schmied an Bord und landete gegen Mittag auf dem Felsen. Alle ausgeschifften Baustoffe, Geräthschaften u. s. w. wurden, bis sie den für sie bestimmten Platz einnehmen konnten, an Ringbolzen befestigt, welche einige Maurer in dem Felsen befestigten. Ein versuchsweise zur Befestigung der Baracke gebohrtes Loch von $3\frac{1}{2}$ Z. weit und 3 Z. tief wurde in einer Stunde vollendet. Am folgenden Morgen wurden weitere Vorbereitungen gemacht, um die schweren Baustoffe, welche der *New Leven* gegen Mittag herbeiführte, zu landen; auch fing man die Befestigungen für das Hebzeug an, welches zur Aufrichtung der Bäume für die Baracke dienen sollte. Es wurde eine Schmiede auf dem Felsen befestigt, welche man durch eine hölzerne Umgebung gegen den Wind und das aufspritzende Wasser schützte. Bis gegen neun Uhr Abends arbeitete man an der Landung und Befestigung der Bauhölzer und an den eisernen Verbindungen der Baracke. Gegen Mitternacht wurde der Südostwind so heftig, dafs der *Pharos*, welcher nur $\frac{1}{4}$ Engl. Seemeile vom Felsen entfernt lag, seinen Ankerplatz verlassen mufste; der Wind trieb das Fahrzeug den Klippen entgegen, und da es nicht gelang den *Bo-rhua* zu umsegeln, so mufste man zwischen

dem *Skerryvore* und dem *Bo-rhua* einen Durchweg suchen; was auch trotz der dunkeln Regennacht gelang. Erst am Abend des 13. August war es wieder möglich, zu landen. Man vollendete nun die Befestigung der Schmiede; ein heftiger Regen trieb aber bald zur Rückkehr an. Nach diesen vielfachen Unterbrechungen erfolgte endlich sechs Tage lang gutes Wetter und die Arbeiten zur Aufrichtung der Baracke konnten von 4 Uhr Morgens bis 8 Uhr Abends fortgesetzt werden; wobei man nur eine halbe Stunde beim Frühstück und eine halbe Stunde beim Mittagsessen zubrachte. Nachdem man die Projection der Pyramidenspitze auf dem Felsen bezeichnet hatte, wurden die radialen Richtungen, über welche die Bäume angebracht werden sollten, markirt, und es wurde die ungefähre Entfernung der Fufspuncte derselben angegeben, um, zu genauerer Bestimmung der Bohrlöcher, den Felsen an diesen Stellen ebenen zu können. Man mufste wiederholt Stücke des Felsens absprengen; was durch kleine Schüsse aus 15 Z. tiefen und $1\frac{1}{2}$ Z. weiten Bohrlöchern geschah. Man richtete dieselben so ein, dafs nur eine dünne obere Schicht der Felsen abgeworfen, der feste untere Theil aber nicht erschüttert wurde. Die dadurch gewonnenen Steine wurden mittels Stricke an den tiefsten Stellen versenkt, damit sie nicht von den Wellen gegen den untern Theil der Baracke geworfen würden. Um die genaue Länge und den Fufspunct der Bäume bestimmen zu können, welche nach der verschiedenen Höhe des Felsens verschieden waren, befestigte man im Mittelpunct einen eisernen Stab, um welchen sich, etwas über dem höchsten, in Betracht kommenden Theile des Felsens, ein horizontales Holz drehte. Dasselbe hatte den Radius der sechsseitigen Pyramide zur Länge, und seine horizontale Lage wurde durch eine Libelle regulirt. An einer durch Construction leicht zu findenden Stelle bewegte sich durch dieses Holz, unter demselben Winkel, welchen die Bäume der Baracke mit dem Horizont bilden sollten, ein diesen Bäumen an Querschnitt gleiches Balkenstück; je höher an einem Unterstützungspunct der Baracke der Felsen war, desto weiter mufste man das Balkenstück hinaufziehen, da seine ursprüngliche Lage dem tiefsten Unterstützungspuncte oder dem längsten Baume entsprach. Es ergab sich daraus unmittelbar, um wie viel jeder Baum abgeschnitten werden mufste. Die Sitze für die Bäume wurden nach diesen Holzstücken, welche unten rechtwinklig abgeschnitten waren, ausgearbeitet.

Die Verbindung der geneigten Hölzer mit dem Felsen geschah durch eiserne Bänder, welche an den mit dem Radius parallelen Seiten lagen und von welchen je zwei unter sich und mit dem zwischenliegenden Baume durch

drei Bolzen vereinigt wurden. Diese flachen Eisen gingen, unmittelbar über dem Felsen, in cylindrische über, und wurden an dieser Stelle mittels eines durch Keile angetriebenen eisernen Rahmens an dem Holze befestigt. Um das Herausziehen der Cylinder zu erschweren, bohrte man die 3 Z. weiten und 2 F. tiefen Löcher divergent, indem man einen nach der angenommenen Schräge geformten Klotz, welcher zwei Rinnen für den Bohrer hatte, in den ausgearbeiteten Sitz legte. Das Bohren eines Loches erforderte über acht Stunden; die gesammte Vorbereitung der Sitze für die sechs äufsern oder Hauptbäume und für die sechs innern Stützen beschäftigte zwölf Menschen vier Tage lang. Die Zimmerleute schnitten die Bäume in ihrer richtigen Länge ab und bohrten die Löcher für die Bolzen. Den obern Theil der Hölzer hatte man schon in *Greenock* so zugeschnitten, dafs sie sich gegen einen sechsseitigen Keil von hartem Holze lehnen konnten. Über diese Theile waren eiserne Bänder gelegt, welche man durch Bolzen befestigt hatte.

Mit vieler Mühe (wegen der Niedrigkeit und geringen Oberfläche des Felsens) wurden die sechs Haupthölzer, jedes nahe an 50 F. lang, mittels mehrerer Hebezeuge aufgerichtet und zusammengefügt. Am 18. August entfernte man die Hülfstaue. Ein Loth, vom Mittelpunct des obern Keils herabgelassen, verfehlte, 40 F. tief unter dem Aufhängepuncte, die Axe der Pyramide um $\frac{1}{2}$ Z., also fand nur eine Abweichung von der Verticalen von 4 Min. Statt: ein Umstand, der das beste Zeugnifs für die Genauigkeit der Arbeit auf dem Werkplatze gab. Viel Zeit und Mühe waren nöthig, um die Hölzer auf der Oberfläche des Felsens fortzubewegen; auch nahm das Festlegen aller Baustoffe jeden Abend einen bedeutenden Theil der Zeit in Anspruch. Vom 18. bis 30. August mufsten die Arbeiten des ungünstigen Wetters wegen eingestellt werden. Am 31. August, Morgens 4 Uhr, landete man mit grofser Schwierigkeit auf dem Felsen; wegen des Regens und des heftigen Sturms mufste man aber schon gegen Mittag den Versuch aufgeben. Erst am 4. September war eine neue Landung möglich. Das Wetter war nicht günstig; indessen wurden die horizontalen Hölzer an der Pyramide angebracht und alle Gegenstände, welche sich noch auf dem Felsen befanden, stark befestigt. Am 8. September gelang es, der Pyramide durch einige diagonale Hölzer noch gröfsere Steifigkeit zu geben und den untern Boden zu legen; der letzte Arbeitstag im Jahre 1838 war der 11. September. Man landete mit grofser Schwierigkeit um 4 Uhr Morgens, mufste aber während der Fluth den Felsen verlassen und kehrte gegen Mittag, als die See nicht mehr so hoch ging, zurück. Die letzten

diagonalen Hölzer wurden befestigt und die Eisen mit Blei vergossen und mit Ölfarbe überstrichen, um der Zerstörung besser zu widerstehen. Der gröfste Theil der Apparate wurde in die Boote gebracht, und auf den obern Theil der Pyramide setzte man schliefslich noch einen wasserdichten Kasten, welcher Trinkwasser und Zwieback enthielt, um etwa verunglückenden Seeleuten auf einige Zeit Unterhalt zu gewähren.

Durch einen Sturm wurde am 3. November das ausgeführte Werk wieder gänzlich zerstört: das Holz wurde weggeführt, die Eisen gröfstentheils, an der Stelle, wo sie von der flachen Form in die cylindrische übergingen, abgebrochen, mehrere Hebzeuge zerschlagen, die Schmiede gänzlich vernichtet u. s. w. Bei dieser Zerstörung der Pyramide wurden wahrscheinlich zuerst die horizontalen Hölzer abgerissen; die übrigen Theile des Baues wurden dann so stark hin- und hergestofsen, dafs die Verbindung der obern Theile auseinander ging; worauf dann auch die nur nach unten befestigten Balken den Wogen nicht lange mehr widerstehen konnten. Bei dem Entwurfe der neuen Baracke verstärkte man besonders die Spitze der Pyramide und vermied die horizontalen Verbindungshölzer, indem man statt ihrer Eisen anbrachte, welche man so mit den Haupthölzern verband, dafs diese letzteren nicht durchbohrt werden durften.

Die Arbeiten auf *Tyree* wurden unterdessen eifrig fortgesetzt. 16 Maurer, 12 Steinbrecher und 4 Zimmerleute waren beschäftigt, die Schuppen für die Arbeiter zu vollenden. Ein grofser gepflasterter Raum wurde zur Zeichnung der Steinlagen und zur Verfertigung der Chablonen eingerichtet und eine Plateform aus Werkstücken gemacht, um auf derselben die fertigen Steinlagen bis zur Verschiffung niederzulegen. Aufserdem war der Damm bis auf 256 F. hinausgeführt worden. Für die Apparate, Werkzeuge, so wie für die Kohlen, wurden Schuppen gebaut. Das obere Stockwerk eines Gebäudes nahm man zur Waarenniederlage, um dort gegen Feuchtigkeit und Ratten geschützt zu sein. Besonders wurden Mehl, Syrup, Zucker, Café, Thee, Tabak und Butter in gröfserer Menge vorräthig gehalten. Diese Anordnung machte der Verwaltung viele Mühe und auch einige Kosten; sie liefs sich aber wegen der Ungastlichkeit der Insel und ihrer Entlegenheit nicht vermeiden.

Die auf *Tyree eröffneten* Steinbrüche entsprachen den Erwartungen nicht. Es fand sich, dafs nur der zehnte Theil der gebrochenen Steine zum Thurmbau tauglich war. Aufserdem war die Bearbeitung der Steine sehr

schwierig. Es wurde daher beschlossen, den oben gedachten Granit von *Mull* zu benutzen und dort im folgenden Frühlinge einige Brüche aufzuthun.

Arbeiten im Jahre 1839. In den Wintermonaten, zwischen dem November 1838 und dem März 1839, wurde eine kleine Abtheilung Arbeiter (3 Maurer, 9 Steinbrecher und 1 Schmied) auf dem Werkplatz zu *Hynish* zurückgelassen: theils um den Landungsplatz von einigen Felsen zu säubern, welche den Eingang beengten, theils um einige Einfassungsmauern zu bauen und Steine zu dem Landungsdamm und dem noch nicht beendigten Gebäude zu bearbeiten. Da beschlossen wurde, die Werkstücke *roh* von *Mull* nach *Tyree* zu bringen, so war es nothwendig, in *Hynish* Vorrichtungen für die Sicherheit und Bequemlichkeit der Schiffahrt zu treffen. Es könnte auf den ersten Blick scheinen, dafs es besser gewesen wäre, die Werkstücke auf *Mull* vollständig zu bearbeiten und sie von dort aus direct nach dem Felsen zu führen: doch würde Dies, wie die Erfahrung später zeigte, grofse Nachtheile gehabt haben. Man konnte von *Hynish* aus mit einem guten Fernrohr den Zustand der See in der Nähe des Felsens erkennen; man konnte mittels Signale mit dem *Skerryvore* verkehren; es war bei der verhältnifsmäfsig kurzen Entfernung bei gutem Wetter möglich, in einem Tage mehrere Ladungen dem Felsen zuzuführen; es waren endlich in *Hynish* Kräfte und Materialien auf einem dem Felsen möglichst nahe liegenden Puncte gesammelt, um jeden günstigen Witterungswechsel zu benutzen und jedem Mangel möglichst schnell abzuhelfen. Alle diese Vortheile hatte die entferntere Insel *Mull* nicht. Aufserdem war *Hynish* der einzige Platz für die Station des zum spätern Dienst nöthigen Fahrzeuges, und es war schon aus diesem Grunde nicht zu vermeiden, dort einen Hafen einzurichten.

Am 19. April segelte *Stevenson* von *Greenock* nach *Mull*, um die Eröffnung der Steinbrüche zu leiten. Man hatte die neue Baracke für den *Skerryvore*-Felsen an Bord genommen und liefs sie vorläufig in der *North-Bay* von *Mull* aufschlagen, damit sie den Maurern, welche Wohnungen für die Steinhauer und einen Quai zur Erleichterung des Einschiffens der Steine bauen sollten, Schutz gebe. Bis Anfangs August hatte man Wohnungen für 40 Personen, verschiedene Vorrathsräume und den Quai beendigt. Der letztere war 40 F. lang und bekam Schutzhölzer, um die Fahrzeuge gegen Beschädigungen zu wahren. Der Raum hinter dem Landungsplatze wurde geebnet und zur Aufhäufung der rohen Werkstücke benutzt. Der Steinbruch selbst wurde an einer sehr steilen Anhöhe eröffnet. Eine Schlucht, welche diese Anhöhe fast

bis zum Landungsplatz durchschnitt, wurde so geebnet, dafs man darin zwei Schienengeleise legen konnte. Die beladenen, hinuntergehenden Wagen zogen die leeren herauf; die Bewegung der auf einen eisernen Cylinder sich aufwickelnden Kette konnte durch eine starke Bremse gehemmt werden. Der Steinbruch war nach Quantität und Qualität der Steine ausgezeichnet gut; der Fels gab gut gerichteten Schüssen leicht nach und wurde in grofse Massen zertrennt, welche dann, ohne grofsen Verlust an Steinen, mit Hülfe von Keilen, in kleinere Werkstücke zerlegt werden konnten. Obgleich der Sommer von 1839 gröfstentheils auf Vorarbeiten hinging, förderte man doch in dem Steinbruch zu *Mull* in diesem einem Jahre mehr zu Werkstücken geeignete Steine, als die Brüche bei *Hynish,* auf der Insel *Tyree,* in drei Jahren geliefert hatten. Es wurden zu *Mull* gewöhnlich 26 Steinbrecher, 3 Arbeiter und 2 Schmiede beschäftigt; welche monatlich im Durchschnitt 400 Tonnen förderten.

Es wird hier nicht unpassend sein, das in Schottland übliche Verfahren beim Aufthun von Granitbrüchen etwas näher zu beschreiben. Nachdem die den Felsen bedeckenden losen Erdschichten abgeräumt sind und die Oberfläche so weit gereinigt ist, dafs die natürlichen Spalten sichtbar werden, sucht man eine geeignete Stelle für die Bohrlöcher aus; und zwar so, dafs die Kraft der Explosion, unter übrigens gleichen Umständen, die möglichstärkste sei. Niemals darf ein Bohrloch mitten in einem schönen oder grofsen Block gemacht werden. Alle Bohrlöcher müssen einige Zoll von der Aufsenseite der Blöcke entfernt bleiben, um Zersplitterungen zu vermeiden. Doch ist auch darauf zu achten, dafs man die Bohrlöcher nicht in stark zerspaltenen Felsen mache, weil sich der Bohrer dann leicht klemmt und nicht bis in die nöthige Tiefe eingetrieben werden kann. Beim Sprengen von Granit befolgt man gewöhnlich die Regel, dafs ein 6 F. tiefes Bohrloch oben $2\frac{1}{2}$ Z., unten 2 Z. weit, dagegen ein 14 F. tiefes Loch oben $3\frac{1}{2}$ Z., unten $2\frac{3}{4}$ Z. weit gemacht wird; die Ladung richtet sich selten nach der Länge der Linie des geringsten Widerstandes. Gewöhnlich füllt man das Bohrloch bis zu Zweifünftel seiner Tiefe an. Gröfsere Felsstücke werden selten durch einen einzelnen Schufs in Stücke zerbrochen; meistens werden sie nur durch etwa 1 Z. breite Spalten zerrissen. An denjenigen Stellen der Spalten, welche einer Explosion zur Fortbewegung des Blocks am günstigsten zu sein scheinen, wo möglich unter den zu lösenden Felsen, bringt man dann etwa noch einmal so viel Pulver, als vorhin zum Schiefsen, und überschüttet dasselbe mit Sand oder ähnlichem Stoffe, zum Schutz, als Decke gegen zufällige Ent-

zündungen. Das Abfeuern ist hier viel gefährlicher, als bei den gewöhnlichen Schüssen, weil die Ladung viel stärker und nicht fest eingeschlossen ist; so dafs eine Menge Splitter umhergeschleudert werden.

Gelingt es dem Steinbrecher auch auf diese Weise noch nicht, das abgerissene Felsstück auf den Boden des Steinbruchs zu bringen, so bohrt er eine Reihe Löcher in den Felsen, und zwar so, dafs die durch die Löcher gehende Ebene von dem grofsen Felsstück einen brauchbaren Block abtrennt. Öfters mufs dieses Bohren von einem Gerüst aus geschehen. Die Löcher werden etwas nach innen geneigt eingetrieben, um das Herausschaffen der Blöcke zu erleichtern. Man bohrt sie 1 F. von einander, $1\frac{1}{2}$ Z. weit und 9 Z. tief. Die Eisen zum Sprengen bestehen aus zwei geschmiedeten Stücken, welche gegen die Wände des Bohrlochs durch einen zwischengeschobenen Keil in der Richtung der Sprenglinie eingetrieben werden. Diese Eisen werden sorgfältig mit Öl bestrichen, wenn die Sprengung schwierig ist. Zur Fortschaffung grofser Blöcke, nachdem der Rifs durch das Eintreiben der Keile entstanden ist, dient wieder Schiefspulver. Gewöhnlich läfst sich aber der Block mit Hülfe eines Krahns herunterbringen, indem man die Kette des Krahns mittels eines Wolfs oder andern Instruments anlegt und sie dann mit dem Hebzeuge so stark anzieht, als es der Bau desselben erlaubt, während andere Arbeiter mit starken Eisen den Block zu lösen und fortzuschieben suchen. Sind die in dem Steinbruch niedergelegten Blöcke, in der Richtung, in welcher sie weiter zerspalten werden müssen, über 7 F. breit, so bedient man sich wieder der oben gedachten Sprengmethode mit Keilen. Für 6 F. breite Blöcke reichen schon gewöhnliche Eisenkeile hin, welche 3 Z. von einander eingetrieben werden. Ist die Breite des Blocks noch geringer, so können die Keile 4 bis 5 Z. von einander entfernt sein. Der Arbeiter, welcher die Löcher für die Keile mit einem 16 Pfund schweren Spitzhammer eintreibt, arbeitet meistens sitzend; auch, wo es angeht, rittlings, indem ihm Steine zur Unterlage für die Füfse dienen. Die Löcher sind meistens $2\frac{1}{2}$ Z. tief und $3\frac{1}{2}$ Z. lang. Es ist darauf zu sehen, dafs sie genau in gerader Linie liegen. Die Eisenkeile macht man gewöhnlich 7 bis 9 Z. lang, $2\frac{1}{2}$ Z. breit und 7 Pfund schwer. Sind die Löcher fertig und die Keile eingesetzt, so giebt man jedem derselben, um sie fest zu machen, einen leichten Schlag mit einem etwa 30 Pfund schweren Schlägel, der einen 2 F. 9 Z. langen Stiel hat. Darauf schlägt man die einzelnen Keile möglichst gleichmäfsig ein; bis der Stein gesprengt ist. So lassen sich die Steine gewöhnlich so grofs erlangen, wie es

die vom Werkplatz gesendeten Roh-Chablonen vorschreiben. Vom Bohren der Löcher ist noch zu bemerken, dafs es durch einen Arbeiter geschieht, der mit der einen Hand den Bohrer dreht, mit der andern den Schlägel handhabt, insofern das Loch nicht mehr als 1 bis $1\frac{1}{4}$ Z. im Durchmesser hat. Ein solches Loch, 9 bis 10 Z. tief, kann in Granit durchschnittlich in einer Stunde gebohrt werden. Von $1\frac{1}{2}$ Z. weiten und 9 Z. tiefen Löchern, für die dreitheiligen Keile, können drei Arbeiter zwei Löcher in einer Stunde bohren. Sprenglöcher von 2 bis $2\frac{1}{2}$ Z. weit können drei Arbeiter in einer Stunde einen Fufs tief eintreiben, wenn sie nicht über 6 bis 7 F. tief werden sollen. Ein Bohrloch von 13 bis 14 F. tief, $3\frac{1}{2}$ Z. oben und $2\frac{3}{4}$ Z. unten weit, beschäftigt drei Arbeiter 2 bis 3 Tage lang. Über 14 bis 15 F. Tiefe kann man nicht wohl hinausgehen, weil ein 17 F. langer und 2 Z. dicker Bohrer schon so schwer ist, dafs ein Arbeiter ihn weder drehen, noch heben kann; auch kann der Schlägel auf eine so grofse Masse nur noch wenig wirken. Zu dreimännigen Bohrlöchern nimmt man einen 7 bis 8 Pfund schweren Schlägel, der mit einem 3 F. langen Stiel hoch geschwungen wird. Die fast horizontalen Bohrlöcher sind wegen der Schwierigkeit des Drehens schwerer zu machen, als die verticalen, und können selten über 9 bis 10 F. tief eingetrieben werden. Solche Bohrlöcher müssen immer eine Neigung von oben nach unten haben, damit das Bohren durch Eingiefsen von Wasser erleichtert werden kann.

Die Zurichtung der Blöcke war eine der wichtigsten Verrichtungen auf dem Werkplatze zu *Hynish*. Da die Werkstücke auf dem Felsen ohne weitere Bearbeitung in den Bau eingefügt werden mufsten, so war grofse Genauigkeit bei der Verfertigung der Chablonen nöthig. *Stevenson* liefs deshalb, um die Curve des Thurms nach der Tafel, welche nach der oben angeführten Formel berechnet war, in natürlicher Gröfse zu zeichnen, einen Maafsstab zum Auftragen der Ordinaten verfertigen, an welchem man dieselben mittels eines verschiebbaren Vernier bis auf $\frac{1}{30}$ Z. ablesen konnte. Mit Hülfe dieser Zeichnung und der von jeder einzelnen Schicht in natürlicher Gröfse gezeichneten Quadranten wurden nur für jeden Stein Chablonen aus trocknem Holze verfertigt, an den Ecken mit Blech beschlagen und mit der Zahl der Schicht und der Lage in der Mauer bezeichnet.

Die Aushöhlung der Baugrube zur Fundamentirung des Leuchtthurms war das Erste, was man im Anfange des Jahres 1839 auf dem Felsen ausführte. Man begann am 6. Mai und fuhr damit bis zum letzten Augenblick fort, der sich in diesem Jahre noch auf dem Felsen zubringen liefs. Die

grofse Unregelmäfsigkeit der Oberfläche, die aufserordentliche Härte des Steins und der geringe Raum auf dem Felsen vergröfserten noch die Schwierigkeiten und Verzögerungen, die selbst unter den günstigsten Umständen bei der Aushöhlung einer Baugrube auf einem vom Lande so weit entfernten Felsen vorgekommen sein würden. Der *Skerryvore* besteht, wie schon gesagt, aus hartem, zähen Gneis, welchen zu bohren viermal so viel Arbeit und Stahl nöthig ist, als für den Granit von *Aberdeenshire*.

Nach sorgfältiger Untersuchung des Felsens und nach reiflicher Erwägung der Gefahr einer Verletzung des Fundaments beschlofs *Stevenson*, den Felsen in einer Ausdehnung abzugleichen, welche hinreichte, die Fundamentgrube für den Thurm aufzunehmen. Wegen der sehr rauhen und unebenen Gestalt des Felsens war diese Vorsicht nothwendig, um sich nicht in der Ansicht von der wahren Beschaffenheit desselben zu irren; denn die Standfestigkeit des Bauwerks hing in hohem Grade von der Beschaffenheit des Felsens unter demselben ab. Diese Operation beschäftigte 30 Arbeiter 102 Tage lang und erforderte 246 Schüsse; gröfstentheils in horizontalen Bohrlöchern. Das Sprengen selbst war nicht gefahrlos, da man sich auf der geringen Oberfläche des Felsens nur etwa 85 F., oft nur 35 F. weit von den Bohrlöchern entfernen konnte und kein natürlicher Schutz zu finden war. Um sich einigermaafsen sicher zu stellen, bedeckte man die Bohrlöcher beim Abschiefsen mit starken Netzen und Matten, welche *Stevenson* im vorigen Winter aus alten Stricken hatte verfertigen lassen. Aufserdem sorgte man stets dafür, dafs die Menge des Schiefspulvers den abzuwerfenden Felsstücken angemessen war. Die Ladung geschah mit einem Stabe, an welchen ein hohler Halbcylinder befestigt war. Durch Umdrehen desselben am Ende des Bohrlochs wurde das Pulver ohne es zu verstreuen hineingebracht. Diese Vorsichtsmaafsregeln entsprachen auch ihrem Zweck; denn nur ein- oder zweimal erreichten die Splitter den Ort, wo die Arbeiter sich zusammengestellt hatten, und ein Krahn nur erlitt eine geringe Beschädigung.

Im Ganzen wurden durch dieses Verfahren 2000 Tonnen Fels entfernt: zwar nur wenig im Vergleich zu Dem bei andern Bauwerken, aber in diesem Falle dennoch mit grofsen Schwierigkeiten. Zum Versenken der Felsstücke in das tiefste Wasser dienten zwei Krahne; so wie eine einstweilige Eisenbahn. *Stevenson* hatte eine galvanische Batterie zum Sprengen verfertigen lassen, doch wurde sie im Ganzen wenig gebraucht, weil an einem so wenig Oberfläche darbietenden Orte, wo so viele Menschen zusammengedrängt waren,

das häufige Abbrechen der Dräthe fast nicht zu vermeiden war. Auch durfte man den Apparat nicht auf dem Felsen lassen, und das Einschiffen bei hoher See brachte die Theile desselben in Unordnung. Man bediente sich daher des Apparats nur dann, wenn entweder unter Wasser gesprengt werden sollte, oder wenn man, um eine besondere Wirkung zu erreichen, mehrere Schüsse zugleich abfeuern wollte. Im letzteren Fall war die galvanische Batterie von grofsem Nutzen.

Nachdem der Boden roh geebnet war, besichtigte *Stevenson* abermals sorgfältig den Felsen, um die Lage der Grube zum Fundament genau zu ermitteln und sie so grofs als irgend möglich anzuordnen. Er fand einen massiven Theil des Felsens, auf welchem er eine Grube von 42 F. im Durchmesser bezeichnete. Eine Menge Bohrlöcher, deren Sohlen in gleichem Horizont, etwa 15 Z. unter der roh bearbeiteten Fläche lagen, wurden eingetrieben, um als Regulatoren bei der Ausarbeitung der Grube zu dienen. Vor dem Schlusse des Jahres 1839 hatte man schon Eindrittel der Grundfläche so weit ausgehoben, dafs nur noch die letzte Bearbeitung fehlte, um zur Aufnahme der ersten Steinlage bereit zu sein. Die Aushöhlung geschah mit grofser Vorsicht. Um nicht die unterstützenden Felsen durch die Wirkung des Schiefspulvers auf die natürlichen Spalten zu erschüttern, sprengte man nur einige Male und bediente sich dagegen meistens der oben erwähnten Keile, legte die Bohrlöcher beinahe horizontal und lösete durch die in dieselben gesetzten Keile Felsstücke von 6 bis 12 Z. dick und 2 Quadratfufs Oberfläche ab. Am schwierigsten war bei dieser Aushöhlung das Einhauen der verticalen Flächen, um die Keile setzen zu können, und die Bearbeitung der verticalen Seitenfläche der Grube, welche 15 Z. hoch und 130 F. lang war. Bis zur Vollendung der Grube wurden im Jahre 1839 20 Arbeiter 168 Tage und im folgenden Jahre eben so viele 49 Tage lang beschäftigt.

Am 15. Juli, als der Felsen, wie oben beschrieben, geebnet und die Gefahr des Sprengens vorüber war, fing man an, die Löcher zur Befestigung der neuen Baracke, welche man dem Thurme näher legte, zu bohren, und die Arbeit wurde so sehr beschleunigt, dafs in 14 Tagen das Rahmenwerk der Pyramide mit allen Verbindungsstücken auf dem Felsen befestigt war. Die Theile des Häuschens wurden von *Mull* herbeigebracht, und am 3. September war die ganze Baracke in dem verhältnifsmäfsig kurzen Zeitraum von 25 Tagen vollendet.

Kein unbedeutender Theil der Arbeit dieses Jahres war nöthig, um

den Landungsplatz, welcher in einer natürlichen Bucht lag, zu reinigen und einen Theil der Felsen zu einem Quai umzugestalten, an welchen die Schiffe, welche Baustoffe herbeiführten, sicher anlegen könnten. Zu dieser letztern Arbeit mufste man über zwei Tage lang mittels einer an einem langen Stiel befestigten Sichel das Seemoos abschneiden, welches den Felsen so dicht bedeckte, dafs seine Gestalt nicht zu erkennen war. Das Bohren der Löcher, der für den Quai bestimmten Aufsenlinie gemäfs, konnte nur bei ruhigem Wetter und in den bestimmten Zeiten der Ebbe geschehen; es ging daher nur langsam vor sich; das Anzünden der Ladung geschah auf der ganzen Linie gleichzeitig, mit Hülfe der galvanischen Batterie. Der Erfolg war günstig; denn es blieb nur noch die Anbringung einiger Schutzpfähle und einer Leiter übrig, um diesem Theile des Felsens den Anschein eines regelmäfsigen Quais zu geben.

Zur Befestigung der Schiffe wurden mehrere Ringbolzen auf dem Felsen angebracht. Den Weg vom Landungsplatze bis zum Thurme richtete man zu einer etwa 150 F. langen Eisenbahn ein, und an ziemlich geschützten Stellen wurden zwei gufseiserne Wasserbehälter auf dem Felsen angelegt, von denen jedoch der eine erst im folgenden Jahre vollendet wurde, da eine der eisernen Tafeln beim Verladen in das Meer fiel.

Arbeiten im Jahre 1840. Während der Wintermonate wurde die Zahl der Arbeiter in *Hynish* auf etwa 50 Personen vermindert, von welchen 27 Maurer hauptsächlich damit beschäftigt waren, Werkstücke zum Leuchtthurm zu bearbeiten, eine Plateform zum Zusammenpassen der Werkstücke vor dem Einschiffen herzustellen und noch einige Schuppen, so wie einen Kalk-Ofen zu bauen. Die Steinbrecher und Arbeiter, 18 an der Zahl, wurden in den Steinbrüchen beschäftigt; denn obgleich die Blöcke nicht zum Leuchtthurm zu brauchen waren, so konnte man sie doch sehr gut zur Verlängerung des Dammes benutzen; Zimmerleute machten Chablonen zu den Werkstücken, eichene Nägel zu den untern Schichten des Leuchtthurms und Handhaben zu den Maurer- und Steinbrecherwerkzeugen. Im April kamen 37 Maurer aus *Aberdeen*, welche gröfstentheils zum Behauen der Werkstücke angestellt wurden. Obgleich eine grofse Zahl von Maurern auf dem Felsen arbeiteten und auch die zu *Tyree* beschäftigten oft bei dem Landen der von *Mull* herbeigeführten Steine helfen mufsten, wurden doch in diesem Jahre über 20000 Cubikfufs Werkstücke vollendet. Der Verkehr an dem Damme bei *Hynish* durch das Ausladen der rohen Steine und das Wegführen der

Werkstücke nach dem Felsen war so grofs, dafs durch die geringe Länge des Dammes viele Unbequemlichkeiten entstanden. Nachdem daher am Ende des Sommers die Fahrten nach dem Felsen aufhörten, verlängerte man den Damm noch um 36 F.

Die erste Landung auf dem Felsen geschah in diesem Jahre am 30. April. Die Baracke fand man fast noch in demselben Zustande, wie man sie verlassen hatte. Die Eisentheile waren sehr verrostet und ihres Anstriches beraubt; das Innere war an einigen Stellen trocken geblieben, und der im vorigen Jahre zurückgelassene Zwieback war noch zu geniefsen. Wegen der grofsen Schwierigkeit, in den ersten Tagen des Mais auf dem Felsen zu landen und die Baracke zur Wohnung einzurichten, konnte man erst am 14. Mai die neue Wohnung beziehen; und auch da fehlte noch Manches, was zu einer wind- und wasserdichten Wohnung nothwendig war. In der ersten Zeit hatte man besonders von der Nässe zu leiden, indem sowohl die aufspritzenden Wellen, als der Regen, in die Zimmer drangen. Es kam sogar vor, dafs man 14 Tage lang ohne alle Verbindung mit dem Ufer und dem Dampfschiffe war. Während des gröfsten Theils dieser Zeit sahe man, so weit das Auge reichte, nichts als weifse Schaumfelder, hörte nichts als das Brausen des Sturms und den Donner der Wogen, welche oft mit einer so furchtbaren Heftigkeit tobten, dafs man kaum die eigenen Worte verstehen konnte. Mehrere Tage gingen die Wellen so hoch, dafs man nicht auf den Felsen hinabsteigen konnte; die gesammte Besatzung der Baracke suchte sich in den Hängmatten zu erwärmen und man stand nur zu einem gemeinschaftlichen Mahle auf. Als endlich eine Landung vom Dampfschiffe aus möglich war, waren nur noch auf 24 Stunden Lebensmittel in der Baracke vorhanden. Der obere für die Arbeiter bestimmte Raum des Häuschens war sehr enge und bei heifsem Wetter die Luft in demselben fast unerträglich. Manche Arbeiter zogen es dann auch vor, auf dem Felsen zu schlafen.

Die Tagesordnung für die Arbeiter auf dem *Skerryvore*-Felsen war folgende. Um $3\frac{1}{2}$ Uhr Morgens wurden die Arbeiter geweckt, und um 4 Uhr begannen sie die Arbeit, welche bis 8 Uhr dauerte. Bis $8\frac{1}{2}$ Uhr wurde gefrühstückt, bis 3 Uhr Nachmittags gearbeitet, hierauf das Mittagsmahl eingenommen, und dann wieder von $3\frac{1}{2}$ bis 7 Uhr, auch wohl bis 9 Uhr Abends gearbeitet; je nachdem es nöthig war.

In der ersten Hälfte des Sommers waren die Arbeiter täglich 14 Stunden lang mit der Aushöhlung der Grube zum Fundament beschäftigt. Die kleinen

Steinsplitter, welche bei der Bearbeitung des Felsens oft 40 F. hoch in die Fenster der Baracke flogen, verursachten mehrfache Verletzungen; bis man für die Arbeiter Drathmasken in *Glasgow* machen liefs. Um die Werkstücke auf den Felsen landen zu können, hatte man vier kleine Fahrzeuge von 16 bis 19 Tonnen in *Leith* und *Dumbarton* bauen lassen, ganz ähnlich den bei dem Bau des *Bell-Rock* zu gleichem Zwecke gebrauchten Fahrzeugen. Sie wurden durch das Dampfboot dem Landungsplatze auf dem Felsen so nahe als möglich gebracht, dann durch die Boote in die Bucht geführt und mit Ketten an die Schutzpfähle befestigt.

Der erste Versuch einer Landung der Werkstücke geschah am 20. Juni, und es wurden bei dieser Gelegenheit sowohl das Dampfschiff, als auch die Transportschiffe, mit Flaggen verziert. Der erste Stein wurde bei seiner Landung mit einer Salve begrüfst und man trank auf guten Erfolg des Werks. Der Dienst der beim Landen der Werkstücke beschäftigten Arbeiter war schwierig und lebensgefährlich; auch die Steuerleute der Transportschiffe waren oft in grofser Gefahr; man mufste sie bisweilen festbinden, damit sie nicht über Bord gespült wurden. Wiederholt trat die See so schnell und heftig in die Landungsbucht, dafs man gezwungen war, die noch völlig beladenen Fahrzeuge wieder hinauszubringen, ohne auch nur einen Stein landen zu können. Eines Tages wurde ein Transportschiff so stark von einer Welle fortgerissen, dafs die acht starken Ketten, welche es hielten, wie Fäden zerrissen. Von den in diesem Jahre gelandeten 800 Tonnen Werkstücken litt kein einziges einen erheblichen Schaden.

Den Bau des Thurms begann man am 4. Juli, und am 7. d. M. wurde die Ceremonie der Grundsteinlegung von dem Herzog von *Argyle* vollzogen. Das Setzen der Werkstücke geschah mittels zweier Krahne, deren einer zwischen dem Landungsplatz und dem Thurme, neben der Eisenbahn, der andere im Mittelpunct aufgestellt war und mit dem Bau selbst in die Höhe erhoben wurde. Da in Folge der sehr genauen Bearbeitung der Werkstücke alle Lager und Seitenflächen genau auf- und aneinander pafsten, so konnte man in 14 Stunden Tages-Arbeit 85 Steine setzen; so dafs in diesem Jahre sechs Lagen Steine, welche den Thurm auf eine Höhe von 8 F. 2 Z. brachten und 10 780 Cubikfufs enthielten, aufgeführt wurden. Die drei ersten Lagen waren aus Gneis von *Hynish*, die folgenden aus Granit. Der zum Bau verwendete Mörtel wurde aus gleichen Theilen von *Aberdda* Kalk und Puzzolane hergestellt; denn es war auf den näheren Inseln kein brauchbarer Sand zu

einem Mörtel vorhanden, wie er auf dem *Bell-Rock* gebraucht worden war, bestehend aus gleichen Theilen Kalk, Sand und Puzzolane; jedoch bewährte sich auch die nothgedrungene Zusammensetzung des Mörtels als recht tauglich.

Arbeiten im Jahre 1841. Die Zahl der Maurer, welche in diesem Jahre beschäftigt wurden, wechselte von 60 bis 84. Sie bearbeiteten hauptsächlich die Werkstücke zum Thurme und halfen beim Entladen der von *Mull* anlangenden Fahrzeuge, so wie beim Einschiffen der vollendeten Werkstücke. Besonders für die letztere Arbeit waren sie sehr nützlich, da die auf der Insel heimischen Arbeiter nicht mit Maschinen umzugehen wufsten und man ihrer Unfähigkeit und Trägheit keinen Augenblick ohne Aufsicht und Anleitung vertrauen durfte.

Das stürmische und veränderliche Wetter im Frühlinge gestattete erst am 13. Mai, auf dem *Skerryvore* zu landen. Die Baracke fand man in demselben Zustande, wie man sie verlassen hatte. Auch das Mauerwerk hatte keinen Schaden gelitten. Am 20. Mai wollte man die Wohnung auf dem Felsen wieder beziehen; die See ging aber so hoch, dafs man nur leichte Sachen landen konnte. Es blieb daher nur *Stevenson* mit acht Maurern dort, zu den noch nöthigen Vorarbeiten. Am 22. konnte man die schweren Gegenstände, als Krahne u. s. w., ebenfalls landen, und nun begann man die regelmäfsigen Arbeiten.

Die Eisenbahn führte man auf dem Felsen noch etwas weiter, bis zu einem geschützten Puncte fort, und errichtete dort einen Krahn, um die Werkstücke, ehe sie gesetzt wurden, an dieser Stelle niederlegen zu können. Am 25. Mai landete man in diesem Jahre die ersten Werkstücke, und ungeachtet des ungünstigen Wetters vollendete man bis zum 8. Juli das Massiv des Thurms. Bis zu 15 F. hoch bediente man sich, wie schon gesagt, zweier Krahne, deren einer, auf dem Felsen stehend, die Werkstücke dem zweiten in der Mitte des Thurms zuführte. Für die gröfsere Höhe reichte dann der untere Krahn nicht mehr aus und man bediente sich nun einer, dem gewöhnlichen Bock ähnlichen Vorrichtung. Sie bestand aus zwei, um horizontale Achsen drehbaren 50 F. langen Hölzern, welche oben durch ein Querstück verbunden waren. Vorn und hinten wurden Seile angebracht, um das Umfallen des Apparats zu verhüten. Die Kette, an welcher die Werkstücke befestigt wurden, ging an dem oberen Theile der Vorrichtung über eine Rolle und wurde dann auf eine, fest mit dem Felsen verbundene Welle gewickelt. Man bediente sich dieses Apparats bis zur Vollendung des Thurms, um die Werk-

stücke vom Felsen 40 F. hoch emporzuheben; von welcher Höhe aus man sie dann durch vermittelnde Hebzeuge dem obern Krahne zuführte. Nachdem man einige Lagen höher als das Massiv des Thurms gekommen war, konnte man den vorhin benutzten gewöhnlichen Krahn, der im Mittelpuncte des Thurms aufgestellt war, nicht mehr gebrauchen. Man liefs daher einen in *Edinburgh* gebauten eisernen Balancierkrahn herbeibringen, welcher am 20. Juli gelandet und am 25. d. M. aufgestellt wurde. Die Anordnung desselben war fast dieselbe, wie auf dem *Bell-Rock*. In der Mitte des Thurms wurde eine gufseiserne Röhre errichtet, welche sich, aus einzelnen Theilen bestehend, in jedem Stockwerk, mit der Aufsenmauer weiter erhob. In Zwischenräumen von etwa 2½ F. waren Öffnungen angebracht, um einen Sitz zu befestigen, auf welchem sich das, die Schilde in der Mitte vereinigende und das Rohr umfassende Zwischenstück drehen konnte; weiter oben waren die Schilde durch ein zweites, das Rohr ebenfalls umfassendes und als Leitung dienendes Zwischenstück verbunden. Die äufsern Theile der 5½ F. langen, 4 F. hohen Schilde wurden durch obere und untere Querstücke verbunden, und diese wurden wiederum durch Verbindungsstücke, welche den Schilden parallel liefen, verstärkt. Die nach beiden Seiten über 13 F. hinausreichenden Arme des Krahns, deren jeder aus zwei, in fast ½ F. Entfernung parallel laufenden, an der Wurzel 3 F. hohen Platten bestand, waren in fester Verbindung mit den äufsern Querstücken. Ungefähr in der Mitte der Länge waren Zugstangen, welche oberhalb der Schilde mit einander verbunden wurden, zur Verstärkung und zum Schutz gegen die Verschiebung nach den Seiten angebracht. Die obere Fläche der Arme war nach Innen zu etwas geneigt, damit die auf denselben laufenden Rollen, sich selbst überlassen, diese Bewegung annehmen konnten. An dem einen Arme hing ein cylindrisches Gewicht von gegossenem Eisen, welches an der Achse der Laufrolle befestigt war; von demselben ging eine Kette aus, welche sich, über die äufsere Rolle geleitet, zwischen den Schilden auf die eine Hälfte einer Welle wickelte; von der andern Hälfte derselben Welle ging eine Kette aus, die, unter der zum Aufwinden der Last dienenden Welle hindurchgehend, von unten über die äufsere Rolle des andern Arms geleitet und an der Laufrolle befestigt war. Über eine Rolle, welche zwischen den letzteren Laufrollen lag, lief die auf die zweite Welle sich aufwickelnde Kette, zur verticalen Bewegung der Last. Zwar ist eine vollständige Kenntnifs dieser Maschine nur durch Zeichnungen zu erlangen, indessen dürfte doch das Vorhergehende ihre Einrichtung im Allgemeinen deutlich machen; so wie den Zusammenhang

zwischen dem sich der Axe nähernden Werkstücke und dem durch eben diese Bewegung sich gleichfalls der Axe nähernden Balanciergewichte.

Ungeachtet des schlechten Wetters im ersten Theil des Sommers und der Unterbrechungen im zweiten Theil des Arbeitsjahres, in welchem man z. B. eines heftigen Sturmes wegen fünf Tage die Arbeiten aussetzen mufste, weil der Aufenthalt auf dem Thurme zu gefährlich war: ungeachtet man oft nicht arbeiten konnte, weil es nicht möglich war, die Werkstücke zu landen, wurden doch im Laufe dieses Jahres 30300 Cubikfufs Steine gesetzt: eine Masse, die gröfser ist, als das gesammte Material zum *Bell-Rock*-Leuchtthurm. Diese schnellen Fortschritte sind gröfstentheils der Benutzung der Dampfkraft zuzuschreiben.

Die Beobachtungen, welche *Stevenson* über die Höhe der ungebrochenen Wellen anstellte, bestätigen wieder, dafs dieselbe gewöhnlich zu grofs angegeben wird. Er fand durch vielfältige Vergleichungen mit der Höhe bekannter Gegenstände, dafs die gröfste Höhe der Wogen, von dem Wellenthale bis zum Wellenberge gerechnet, *nicht über 15 F. steigt,* während die Seeleute solche Wogen auf 30 bis 40 F. hoch schätzten.

Am 17. August verliefs man den Felsen, nachdem man den Balancierkrahn wohl bedeckt und einen vorläufigen Blitz-Ableiter angebracht hatte.

Arbeiten im Jahre 1842. Am 17. April landete *Stevenson* zuerst in diesem Jahre, und fand Spuren der heftigen Winterstürme; denn die Oberfläche des Felsens war entblöfst von den Baustoffen, welche am Ende des vorigen Jahres angehäuft waren, und das Gebäude war 6 bis 8 F. hoch mit Seemoos überzogen. Die Eisenbahn hatte ziemlich viel durch Felsstücke, welche auf sie geschleudert waren, gelitten, und im dritten, noch nicht vollendeten Zimmer des Thurms, 60 F. hoch über dem Hochwasser, fand man Kiesel, welche von den Wogen hineingeschleudert waren; doch war der Balancierkrahn unbeschädigt geblieben.

Da es beschlossen war, aufser der gewöhnlichen Anzahl Maurer noch 18 bis 20 Arbeiter auf dem Felsen zu logiren, um die Hebezeuge in Bewegung zu setzen, so landete *Stevenson* am 20. April mit mehreren Tischlern und einem Schmied, um die untere Galerie, welche zur Niederlage der Kohlen gedient hatte, in eine Wohnung zu verwandeln. Die Wände wurden aus doppelten Bohlen gemacht und die Fugen verstopft. Die Fenster wurden an der den Wellen am wenigsten ausgesetzten Seite angebracht; aber ungeachtet aller dieser Vorsichtsmaafsregeln konnte man nicht einmal die Hängematten

in dem neuen Wohnraum gegen Nässe schützen: bei heifsem Wetter dagegen hatten die Bewohner desselben einen viel angenehmeren Aufenthalt, als ihre obern Nachbarn. Der Anfang der Arbeit wurde durch das schlechte Wetter bis auf den 18. Mai verschoben, indem bei dem heftigen Winde, welcher es öfters unmöglich machte den Felsen zu betreten, die Vorbereitungen nicht schneller getroffen werden konnten. Man begann dann mit der 38ten Schicht des Thurms und konnte bei der eingetretenen guten Witterung am 25. Juli die Steine der *obersten* Schicht setzen.

Obgleich gewissenhaftes, strenges Festhalten an der gröfsten Genauigkeit der Arbeit unter Umständen wie auf dem *Skerryvore*-Felsen schwer zu erreichen ist, wurde doch während der ganzen Aufführung des Gebäudes genau die Regel befolgt, dafs für jede Lage Steine der Durchmesser sorgfältig gemessen wurde, und man fand, bei der ausgezeichnet genauen Bearbeitung der Werkstücke, dafs die höchstens gestattete Abweichung von $\frac{1}{2}$ Z. nie überschritten war. Das gesammte Mauerwerk des Thurms ist 137 F. 11 Z. hoch und enthält 58 580 Cubikfufs oder 4308 Tonnen Werkstücke. Nachdem die letzten Werkstücke gelandet waren, führte der Dampfer auf zwei Transportschiffen die Laterne von *Greenock* herbei, welche am 10. August gelandet wurde. Bis zum 16. d. M. hatte man das Rahmenwerk und den Blitz-Ableiter befestigt, und begann nun das Dach der Laterne aufzustellen. Da der Felsen so wenig Raum gewährte, konnte man nicht, wie sonst gewöhnlich, das schon zusammengesetzte Dach hinaufheben, sondern mufste die einzelnen Theile heraufschaffen. Indessen war schon am 14. September auch diese Arbeit, so wie das Einsetzen des Glases vollendet und man verliefs den Felsen.

Es war ein *Dock* für das Fahrzeug, welches die Leuchtthurmwächter mit Lebensmitteln, Brennmaterial u. s. w. versorgen mufste, unumgänglich nothwendig, da die Küste von *Tyree* keinen Schutz gewährte. Da sich die Lage des Landungsdammes als glücklich gewählt gezeigt hatte, indem dieser Platz weniger dem stürmischen Wetter ausgesetzt war, als die naheliegenden Buchten, so war nichts natürlicher, als dafs man für den Dock diesen Damm benutzte. Das Bassin sollte nur so grofs werden, als zur Aufnahme des Fahrzeuges nöthig war, und es sollte so liegen, dafs es bei jedem Wetter, welches eine Landung auf dem Felsen gestattete, leicht in See gehen konnte. Nachdem das Dampfschiff verkauft war, hatte man für den Dienst ein kleines Fahrzeug von 35 Tonnen angeschafft, mit 7 bis 8 F. Tiefgang. Für dieses Maafs war das Bassin einzurichten, und es wurde 150 F. lang, 50 F. breit und 12 F. unter dem Hoch-

wasser der Springfluthen tief angeordnet. Der Landungsdamm hatte an der äufsern Seite eine Böschung von 45 Gr.; die innere Seite war vertical, hatte Schutzhölzer und konnte also auf 100 F. lang ohne Weiteres zur Bildung des Bassins benutzt werden. Um die beiden Flügel der Futtermauern zu schliefsen, waren Balkenthore nöthig, da die grofse Beweglichkeit des Sandes, mit der Heftigkeit des Wellenschlages verbunden, keine Drehthore gestattete. Der gröfseren Sicherheit wegen setzte man, 4 F. im Lichten von einander entfernt, zwei Thore, welche aus einzelnen, 20 F. langen Balken, in der Mitte mit starken Zapfen zum Aufheben bestanden. Beide Thore werden gemeinschaftlich durch Ketten niedergehalten, um sie am Aufsteigen bei der Fluth zu hindern. Das Aufheben der Balken geschieht mittels eines Krahns, an dessen Kette ein doppelter Haken zum Fassen der Zapfen angebracht werden kann. Dieses Hebezeug dient zugleich zum Verladen der Materialien u. s. w.

Da die Fluthen bei heftigen Nordwestwinden oft grofse Veränderungen des Ufers in der Nähe des Hafens hervorbrachten, welche zuweilen so bedeutend waren, dafs man bei den höchsten Springfluthen nicht einmal mit einem Boote in das Bassin kommen konnte: so war zu fürchten, dafs das Fahrzeug durch die Vorlagerung der Sandbänke oft am Auslaufen verhindert und das Bassin selbst stark mit Sand angefüllt werden würde. Das einzige Mittel gegen dieses Übel war die Herstellung einer künstlichen *Spülung*. Zu diesem Zwecke wurden verschiedene kleine Bäche, welche im Sommer 12 bis 50 Cubikfufs Wasser in der Minute führen, in einen Behälter geleitet, der 175 000 Cubikfufs Wasser fassen konnte. Diese Wassermasse reicht hin, da der sehr leichte, ($25\frac{1}{2}$ Cubikfufs eine Tonne wiegende) Sand dem Wasser keinen grofsen Widerstand entgegensetzt. Durch ein Schütz läfst man das Wasser in den Zuleitungscanal, aus welchem es, mit einem Querschnitt von 9 Quadratfufs, $1\frac{1}{4}$ Stunden lang hinausströmt. Meistens wird durch dieses Spülen schon während einer Ebbe die Tiefe bis auf den Felsen hergestellt.

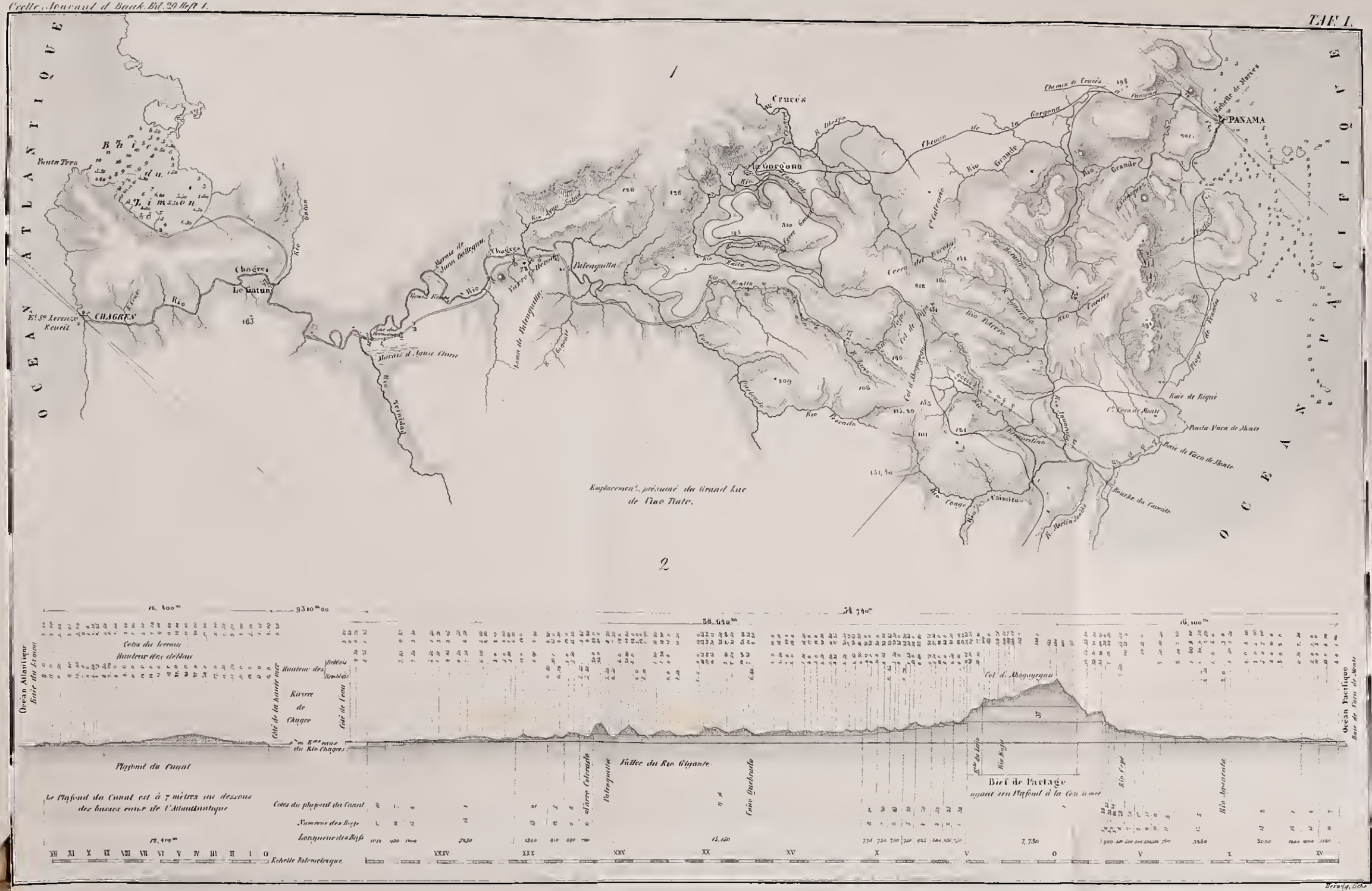
Auf dem *Bo-Pheg*-Felsen, nordöstlich vom *Hynish Point*, zwischen dem Hafen und dem Leuchtthurme, der nur bei der Ebbe der Springfluthen trocken wird, mufste ein festes *Wahrzeichen* gesetzt werden. Die Schwierigkeit des Landens auf diesem Felsen, über welchen selbst bei ruhigem Wetter die Wellen stark sich brechen, und die kurze Zeit, welche die Arbeiter dort zubringen konnten, so wie die sehr kleine Oberfläche des Felsens, erschwerten das Setzen dieses Wahrzeichens sehr. Es bestand aus einem offenen Rahmenwerk von Eisen, um den Wogen wenig Oberfläche entgegenzusetzen, wurde

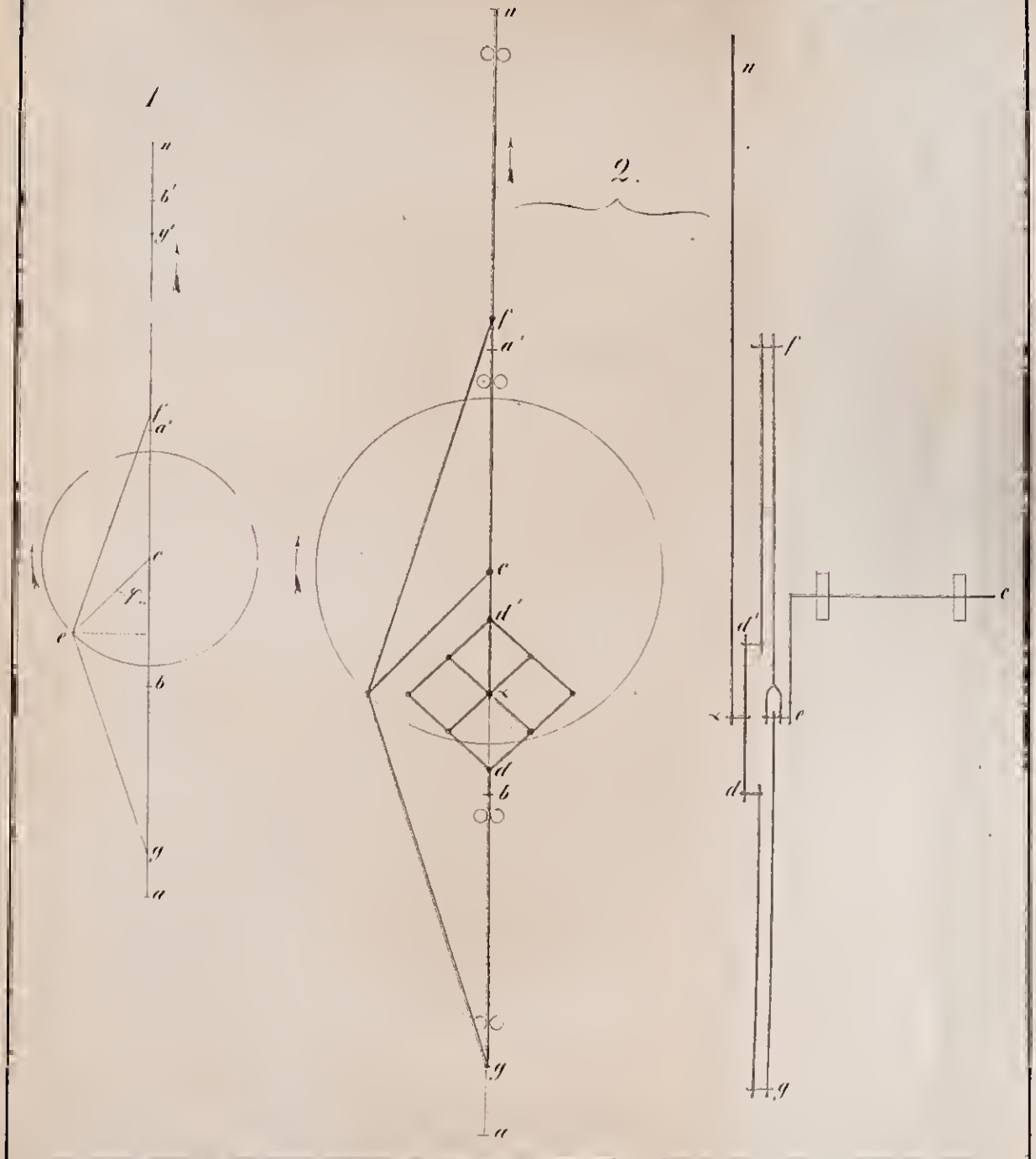
aber, bevor es vollends befestigt war, durch die heftigen Stürme des Winters 1844 zerstört. Da in dieser Zeit keine Landung möglich war, so konnte man nichts davon retten. Im folgenden Sommer errichtete man ein zweites Werk, aus einem hohlen Kegel bestehend, der aus eisernen, durch Flanschen verbundenen Tafeln zusammengesetzt war. Um sein Gewicht zu verstärken, füllte man das Innere mit Kies aus.

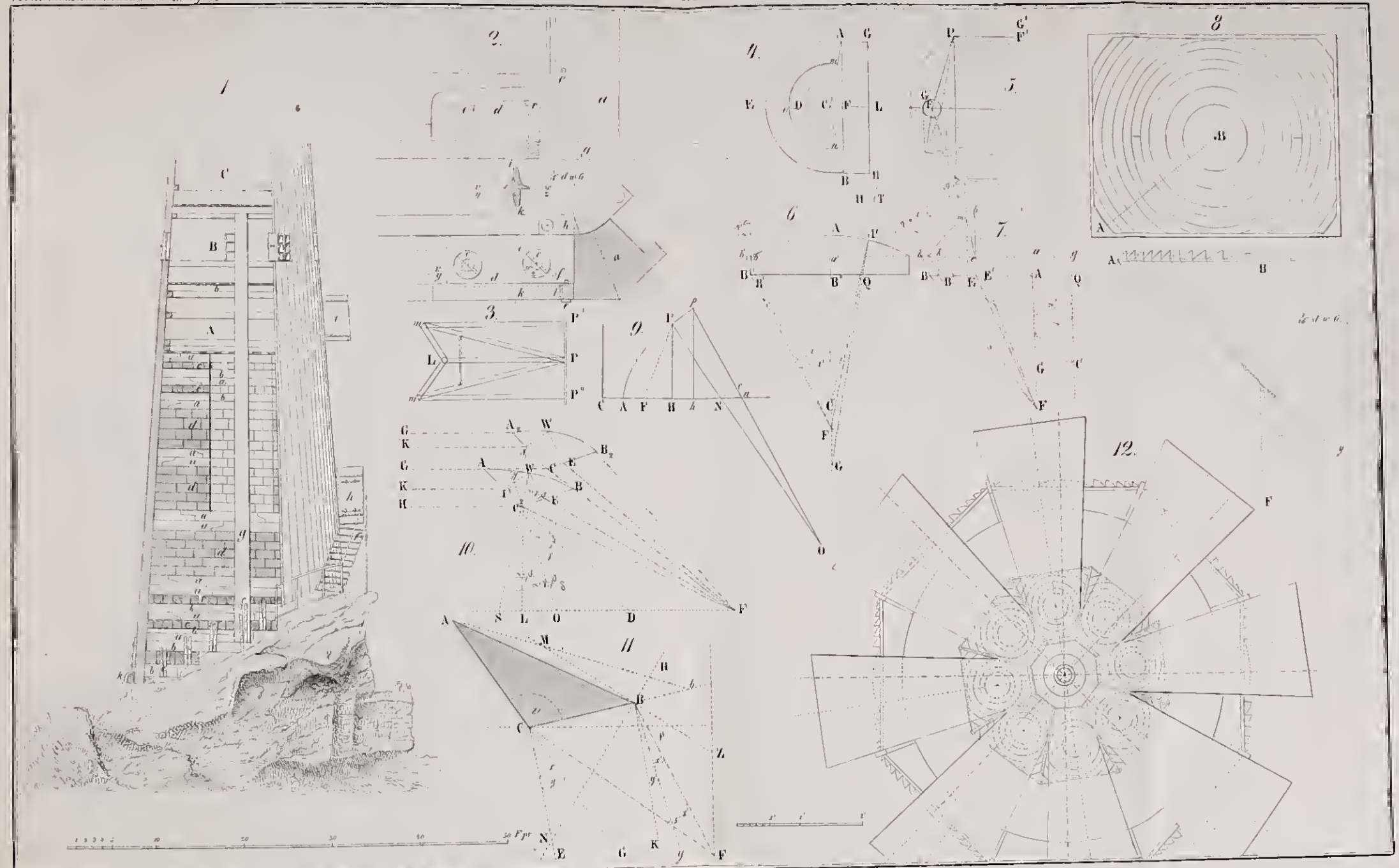
Wohnhäuser für die Familien der Leuchtthurmwächter und der Seeleute, so wie Vorrathshäuser verschiedener Art, wurden zu *Hynish* eingerichtet. Sie wurden zu diesem Zwecke theils neu gebaut, theils in schon vorhandenen Gebäuden durch kleine Veränderungen hergestellt.

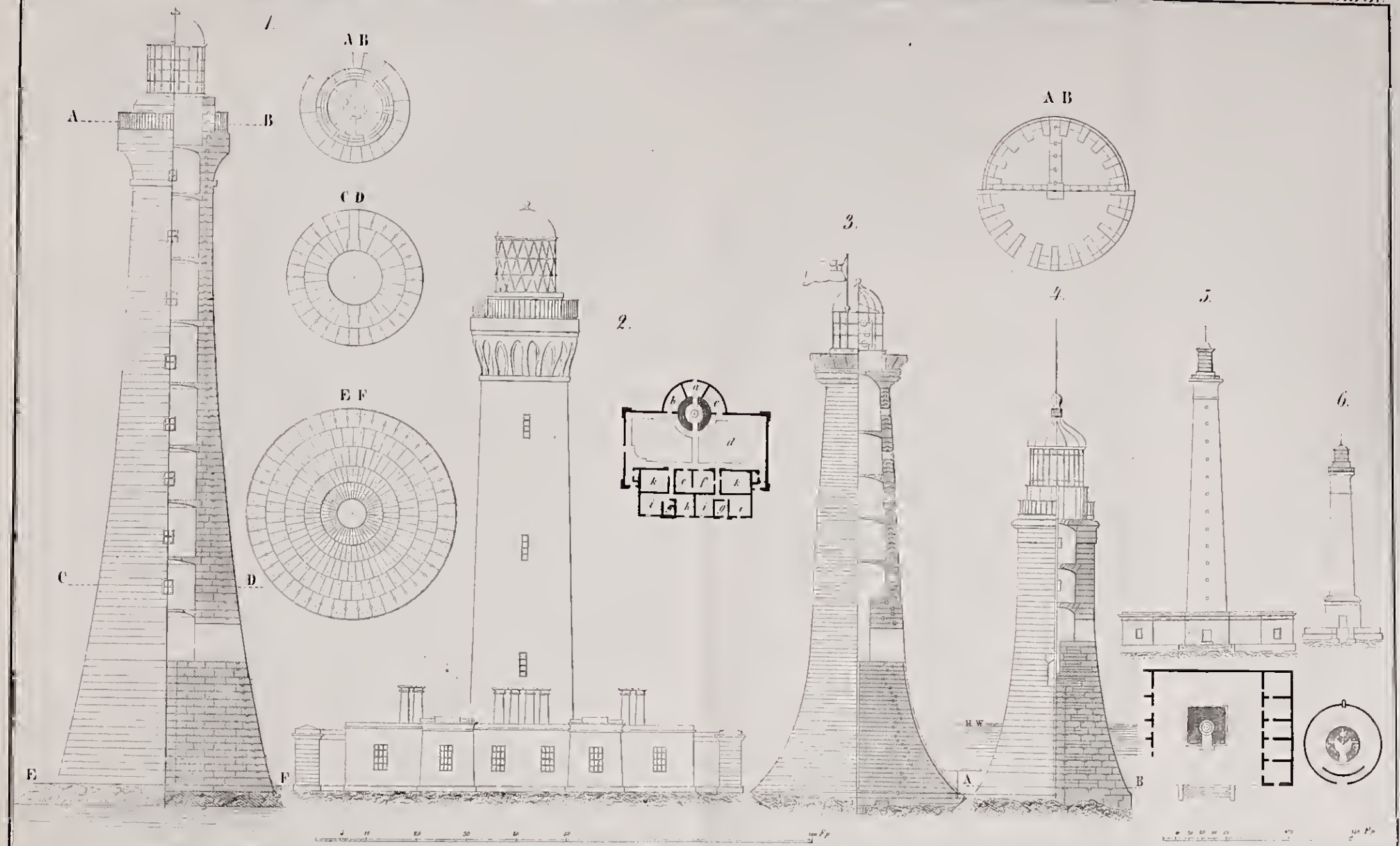
Am 29. März 1843 landete man auf dem Felsen, fand das ganze Gebäude vollkommen wasserdicht und sah nicht die geringste Spur einer mangelhaften Fuge. Es wurde nun die äufsere Seite des Thurms mit Mörtel aus *Halkin*-Kalk und Puzzolane sorgfältig ausgefugt; was, da es auf Gerüsten geschehen mufste, viel Zeit kostete. Eine andere langwierige Arbeit war die Einrichtung der Zimmer und die Trennung derselben von der Treppe; sodann die Anlage der Rauch-Abzüge, der Wasser- und Ölbehälter, des Kohlenraums und der Röhre zwischen dem Leuchtraum und den übrigen Zimmern, zur Aufstellung der Signalglocken.

(Der Schlufs folgt.)


1
OCEAN ATLANTIQUE
OCEAN PACIFIQUE
Cruces
La Gorgona
PANAMA
Chemin de Cruces
Chemin de la Gorgona
Echelle de Panama
Rio Grande
Rio Chagres
Rio Trinidad
Rio Pequeni
Rio Obispo
Rio Boqueron
Rio Agua Salud
Rio Agua Santa
Rio Caimito
Rio Congo
Rio Pescado
Rio Paraiso
Rio Cocoli
Rio Matasnillo
Rio Aspavanta
Rio Tapia
Rio Pacora
Rio Tapia de Panama
Rio Tapia de Vaca de Monte
Rio Vaca de Monte
Chagres
Le Gatun
CHAGRES
Bahia de Limon
Limon
Punta Toro
Barriz de Juan Gallegos
Palenquilla
Cerro Gigante
Cerro Pescado
Cerro Quebrado
Cerro Pelado
Cerro Cocoli
Cerro Matasnillo
Cerro Ancon
Col d'Obispo
Col d'Aspavanta
Col de Paraiso
Col de Cocoli
Col de Matasnillo
Col de Ancon
Emplacement présumé du Grand Lac de Nao Tate.
2
Océan Atlantique
Baie du Limon
Côtes du terrain
Hauteur des déblais
Hauteur des Remblais
Rivière de Chagre
Côté du Gatun
Côté de la haute mer
Rase eau du Rio Chagres
Col d'Obispo
Col de Paraiso
Col de Cocoli
Col de Matasnillo
Col d'Ancon
Océan Pacifique
Baie de Tiers de Monte
Plafond du Canal
Le Plafond du Canal est à 7 mètres au dessous des basses eaux de l'Atlantique
Côtes du plafond du Canal
Nombre des Biefs
Longueur des Biefs
Vallée du Rio Gigante
Faire Quebrado
Petenquilla
Barrière Colorado
Bief de Partage ayant son Plafond à la Côte 37 mètres
Rio Cagre
Rio Aspavanta
Echelle Kilometrique.

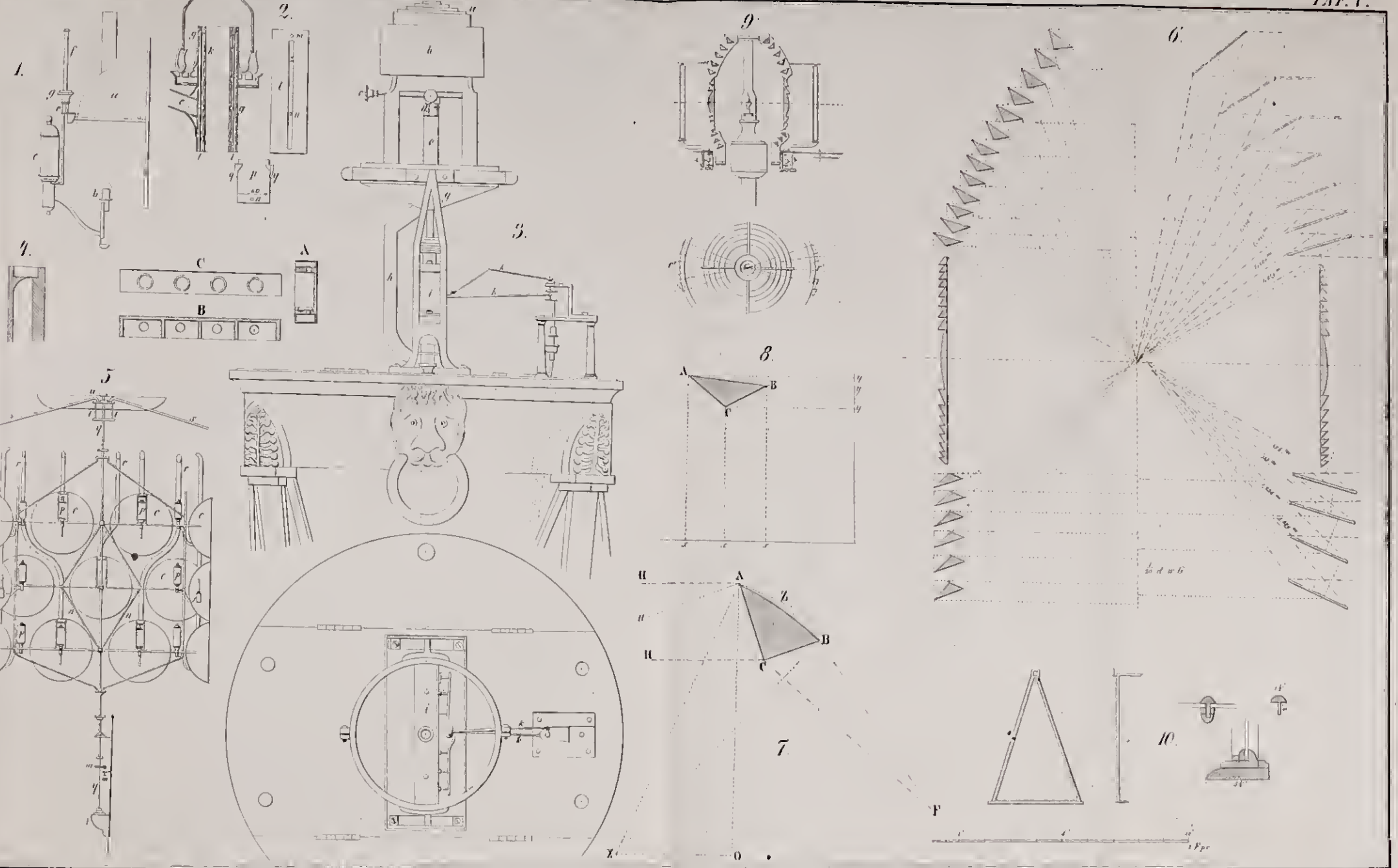

1
2.
n
b'
g'
f
a'
c
φ
e
b
g
a
d'
d
x


1
2.
3.
4.
5.
6
7.
8
9.
10.
11
12.
A
B
C
D
E
F
G
H
K
L
M
N
O
P
Z
50 Fuß

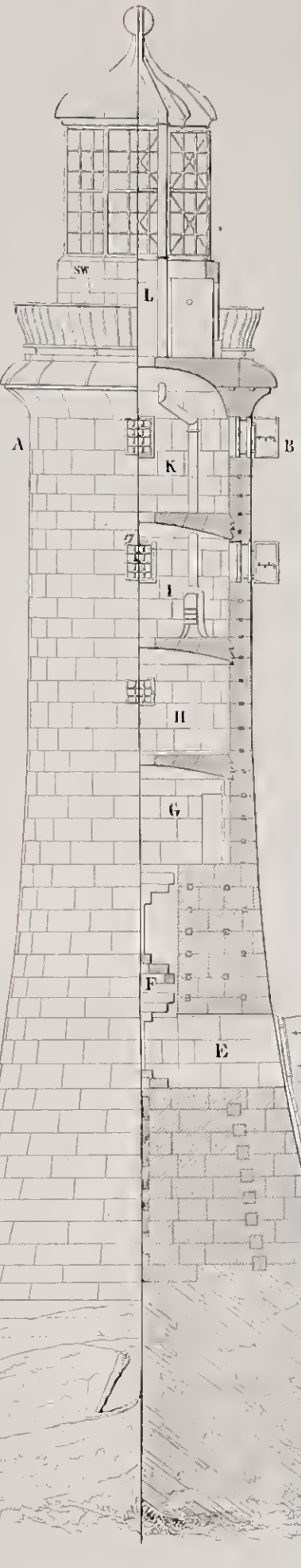

1.
A B
C D
E F
2.
3.
4.
5.
6.
H.W.

No. 3.

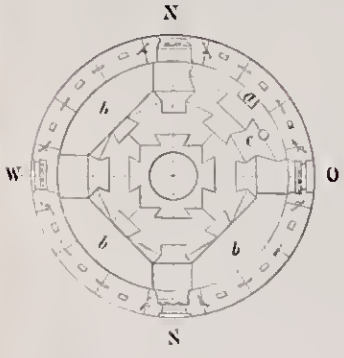
TAF. V.



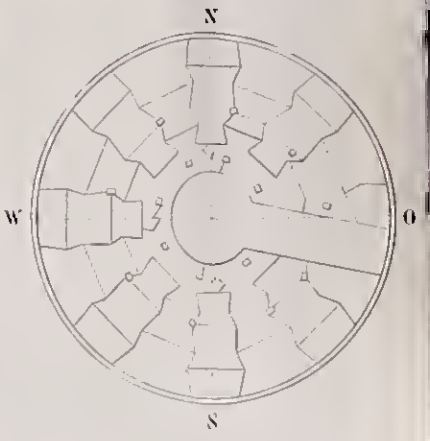
Leuchtthurm auf dem Edystone.



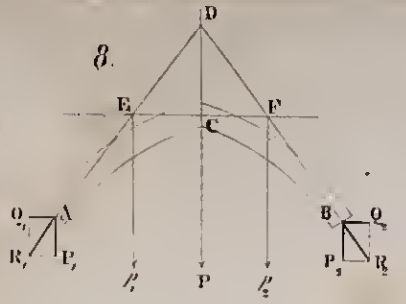
Grundplan nach AB



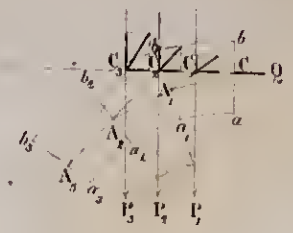
Grundplan nach CD.



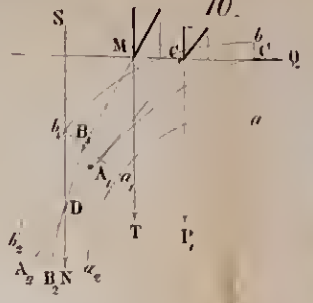
8.



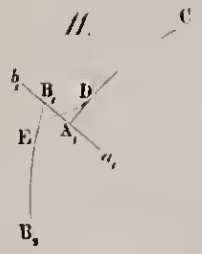
9.



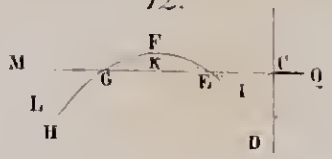
10.



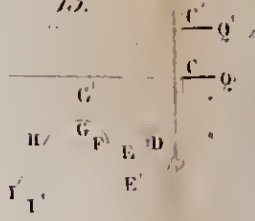
11.



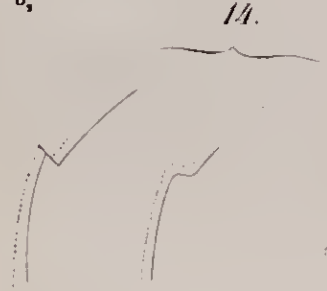
12.



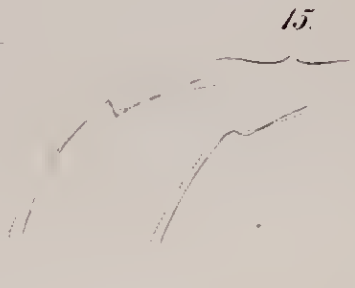
13.



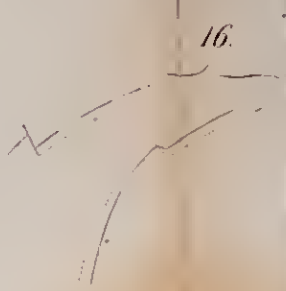
14.



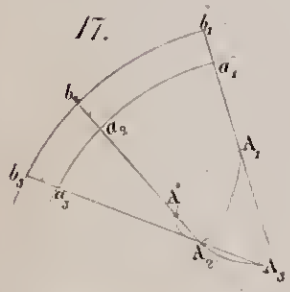
15.



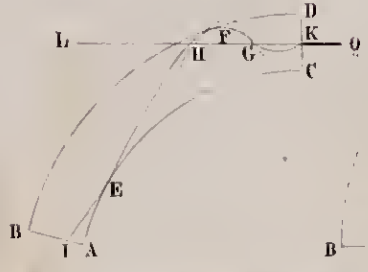
16.



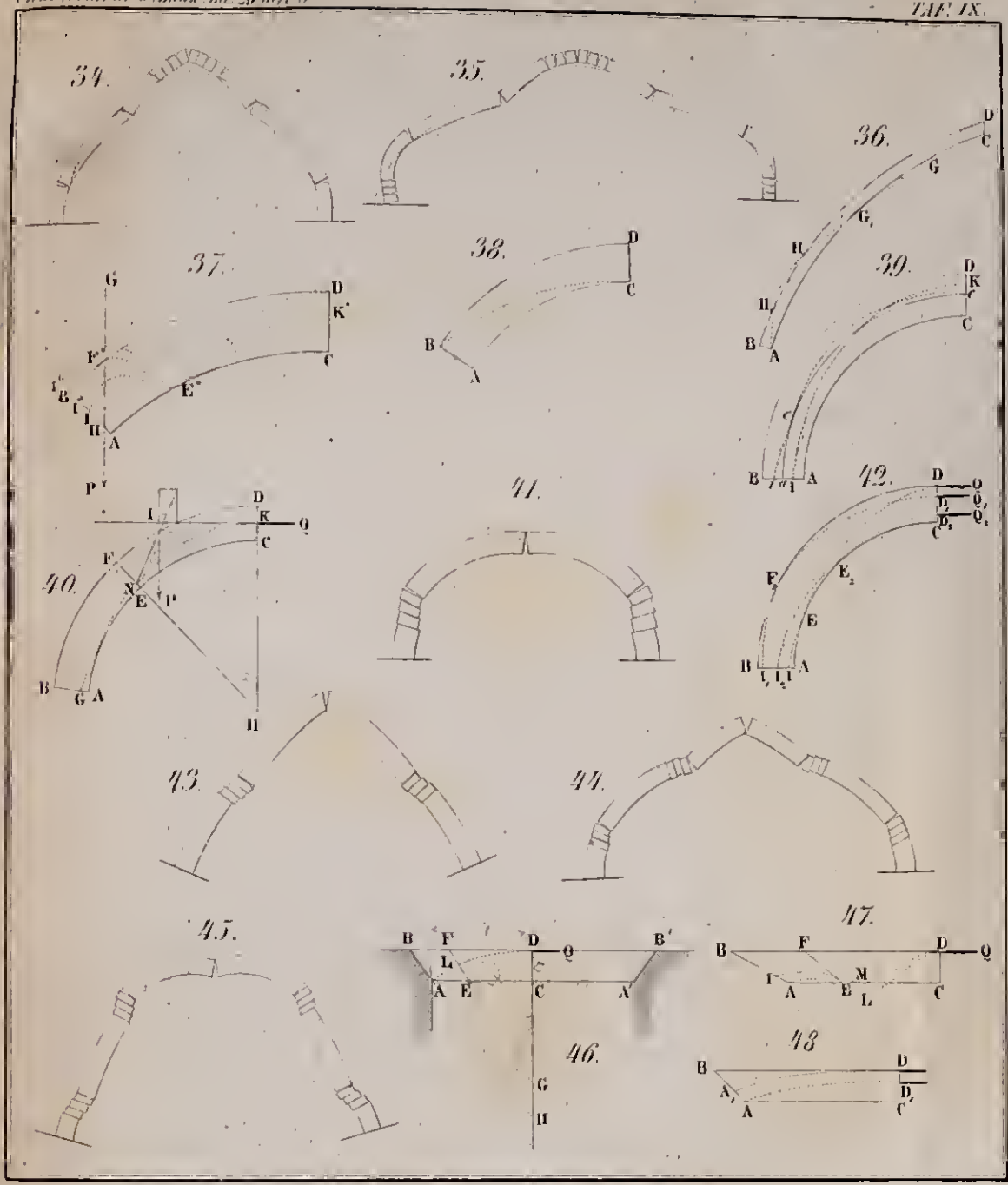
17.

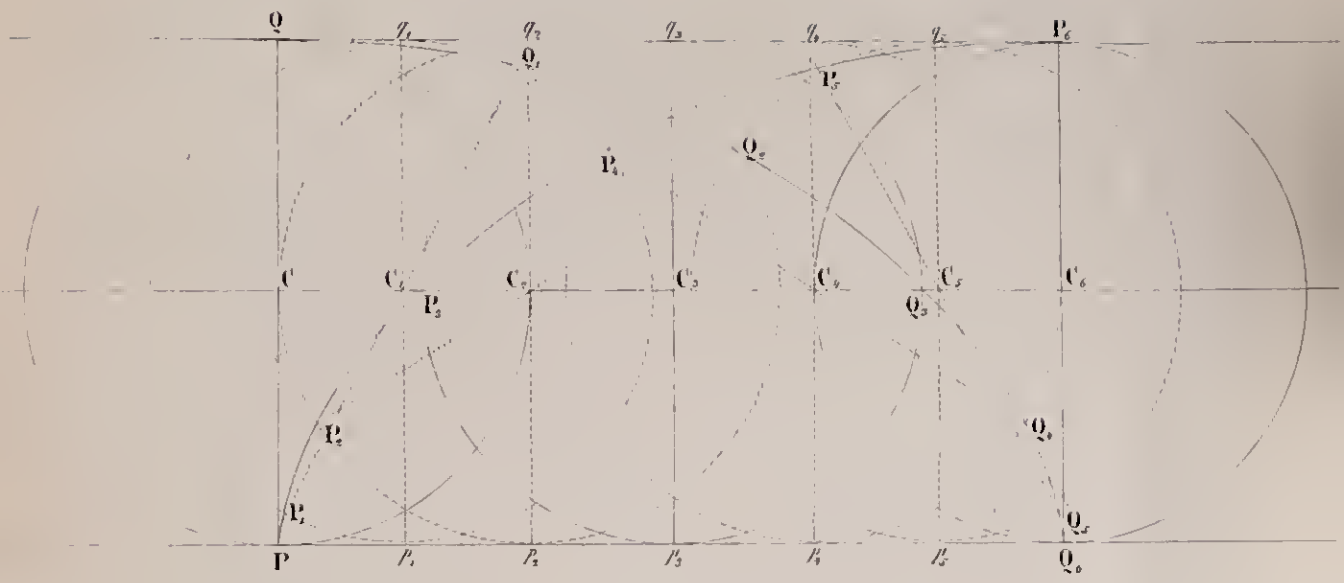


18.



19.

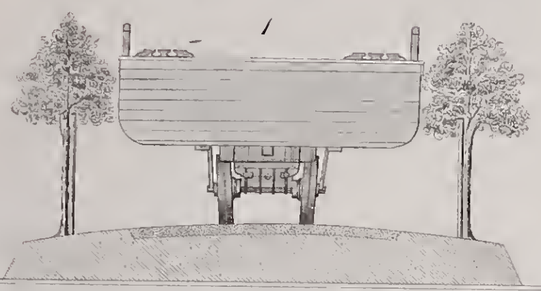

34.
35.
36.
37.
38.
39.
40.
41.
42.
43.
44.
45.
46.
47.
48

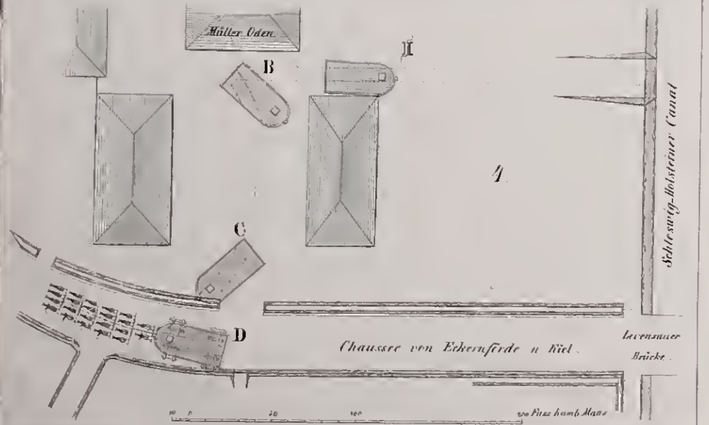

Q
q_1
q_2
q_3
q_4
q_5
P_6
Q_1
P_5
Q_2
P_4
C
C_1
C_2
C_3
C_4
C_5
C_6
P_3
Q_3
Q_4
P_2
P_1
Q_5
P
P_1
P_2
P_3
P_4
P_5
Q_6

Der grosse Wagen mit der Taucherglocke.

Hintere Ansicht.

1



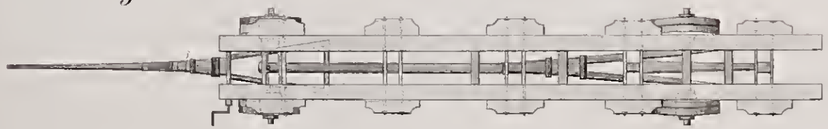


Seiten-Ansicht

2

Grundrifs

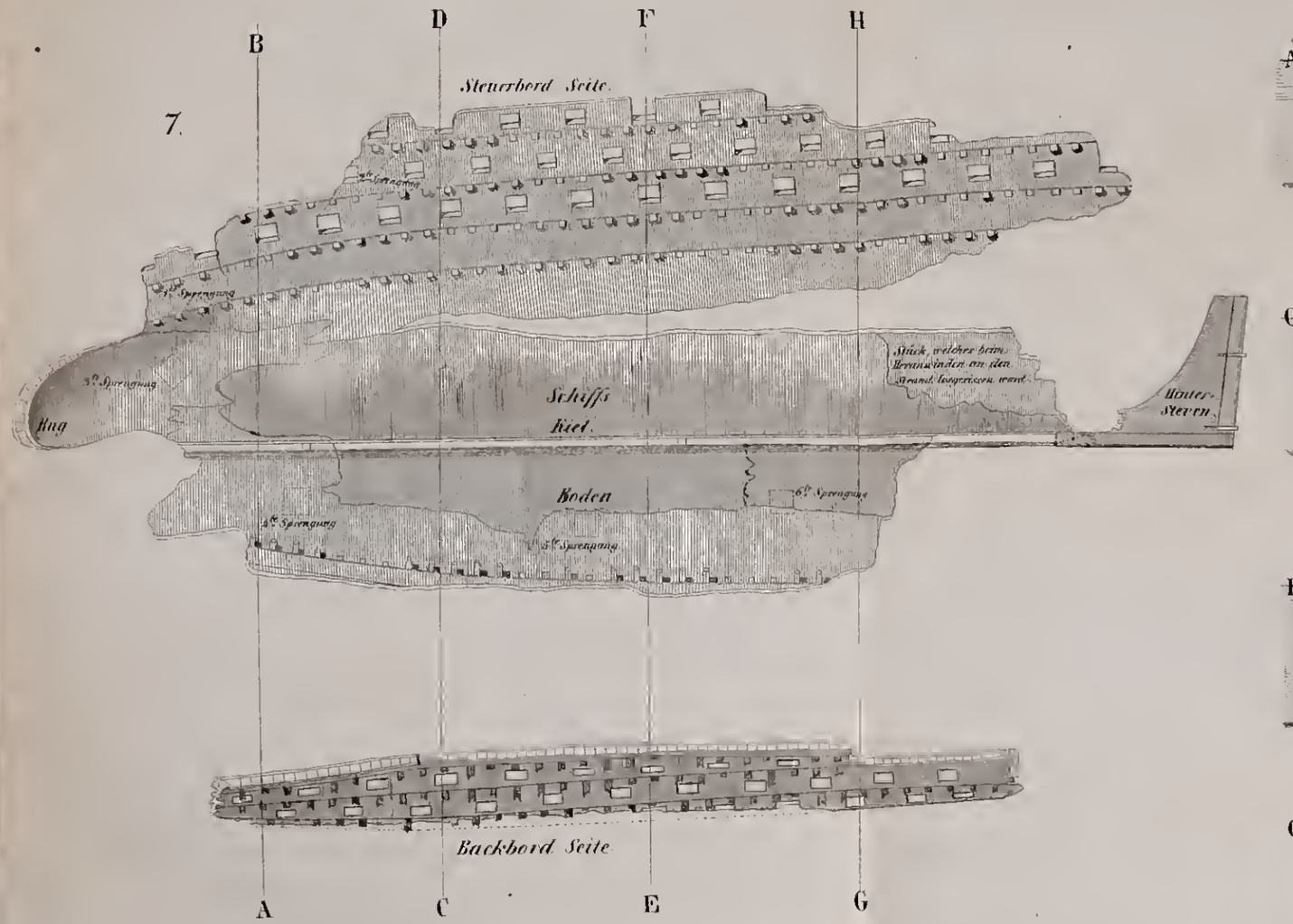
3



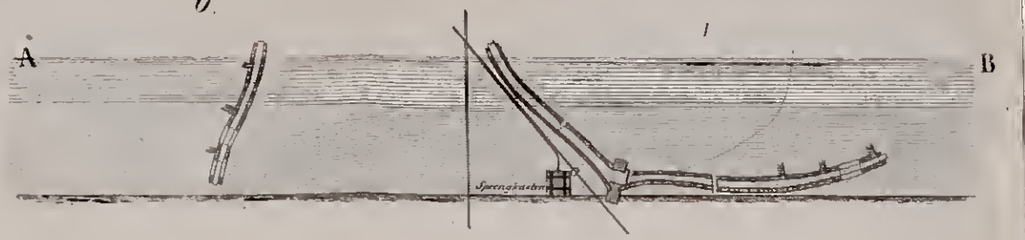
10 5 0 10 20 30 Fuss hamb Maas

5.

Ansicht von Oben.

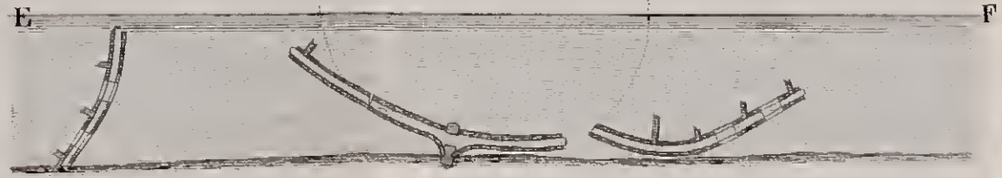


Durchschnitt nach AB.

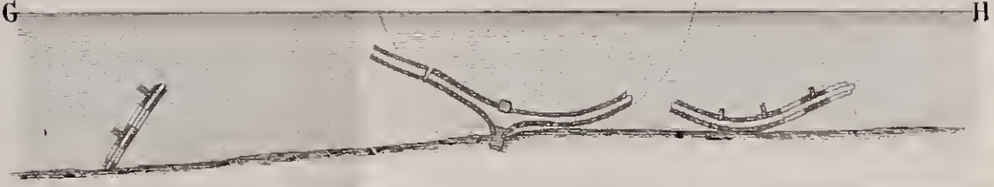


nach CD.

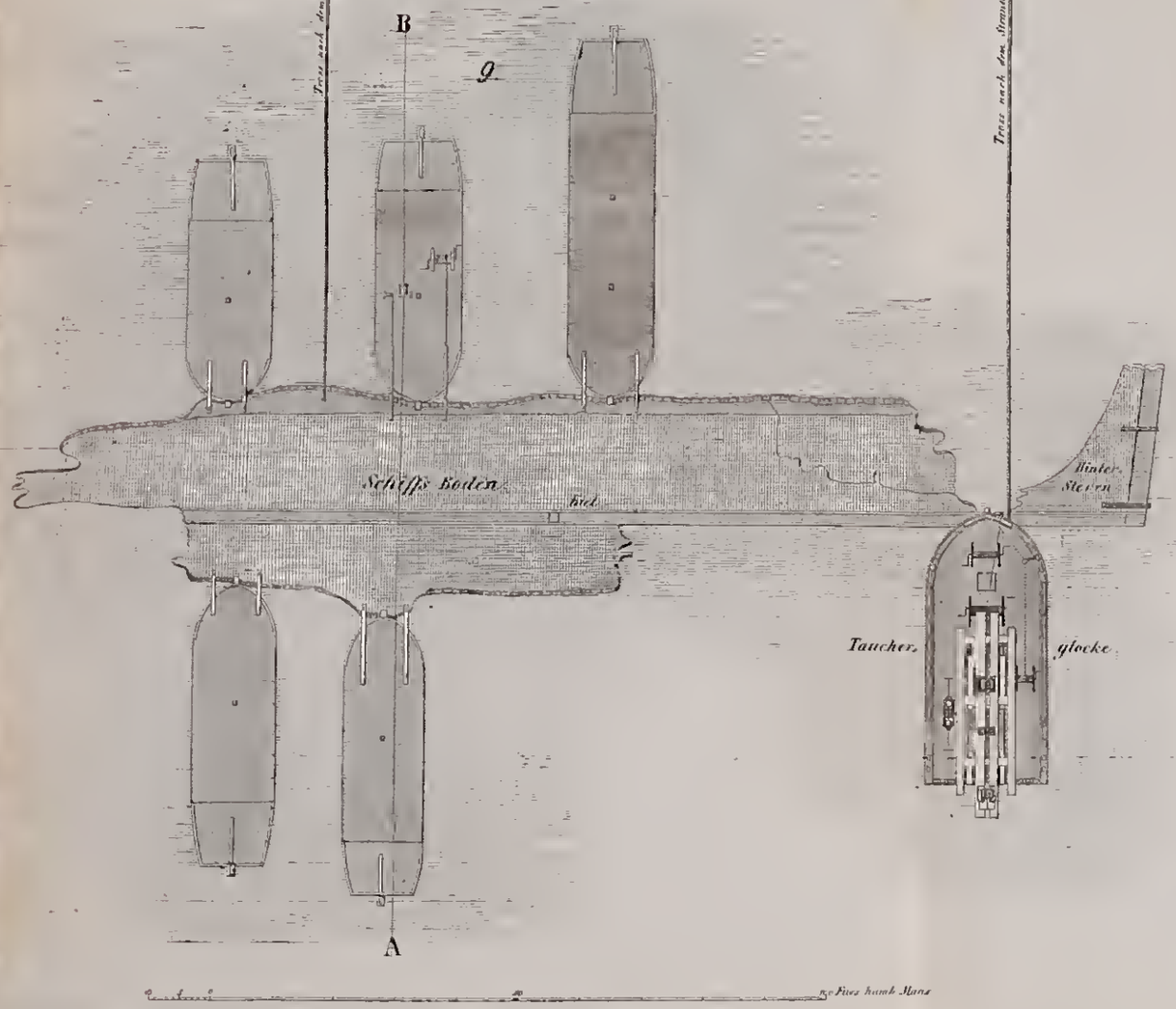
nach EF.



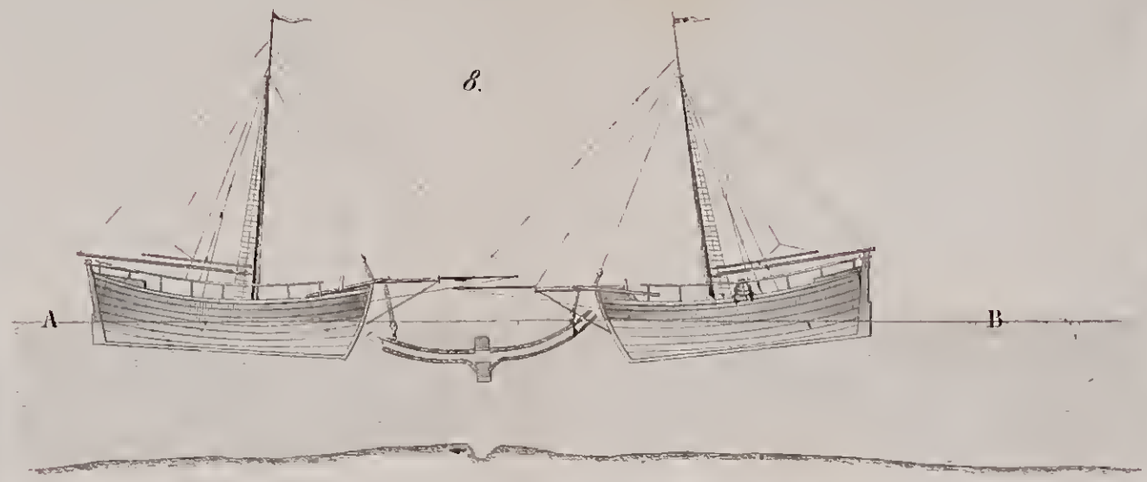
nach GH.

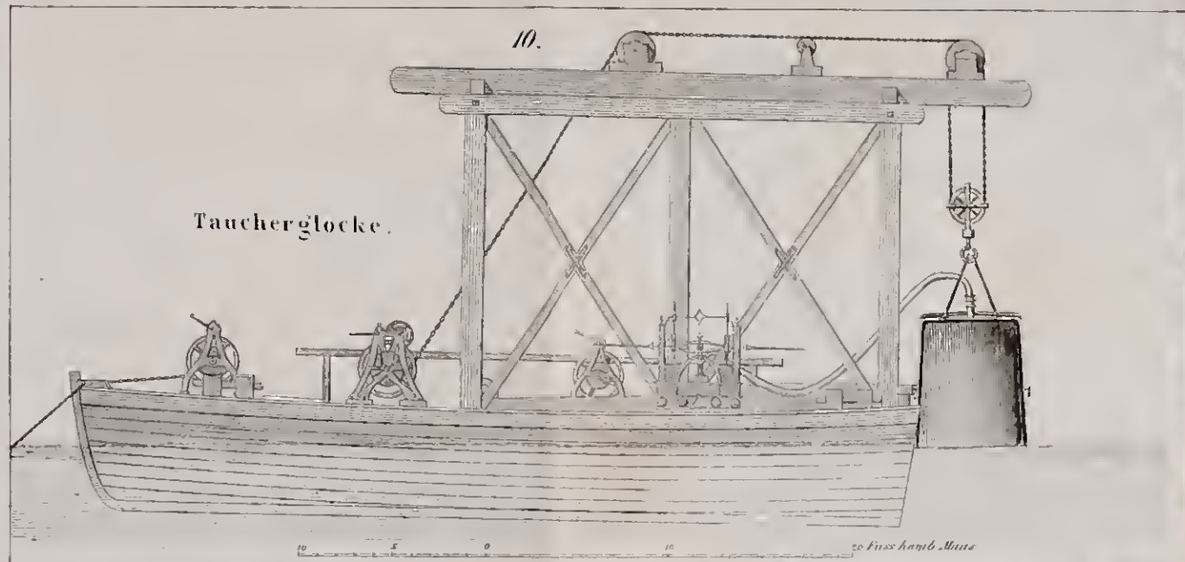


Anordnung der Fahrzeuge beim Heben des Bodens des Wracks.



Durchschnitt nach AB.





GETTY CENTER LIBRARY
3 3125 00611 4025